



**João António dos  
Santos**

**Patologias em Obras-de-Arte**



**João António dos  
Santos**

## **Patologias em Obras-de-Arte**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e do Professor Doutor Aníbal Guimarães Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

À Sónia Judite pelo amor manifestado no apoio, na perseverança e paciência.  
Aos meus pais pela sempre segura “fundação” em terreno “difícil”.

## **o júri**

presidente

**Prof. Dr. Paulo Barreto Cachim**  
professor associado da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto**  
professor auxiliar da Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro

**Prof. Dr. Humberto Salazar Amorim Varum**  
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa**  
professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Não tirando significado aos agradecimentos que por acções e palavras manifestei e manifesto a todos que contribuíram para a minha formação pessoal e curricular, aproveito esta oportunidade para registar o meu agradecimento individual a cada um:

- Ao Prof. Varum, pela inestimável paciência, insistência, disponibilidade e orientação;
- Ao Eng.º Romana Ribeiro, pela disponibilidade e impulso no início deste percurso;
- A todos elementos que pertenciam á DVGNT, Eng.º Ana Paula Choon, Eng.<sup>a</sup> Anabela Teles, Rogério e Emília;
- A todos amigos do peito, a quem recorri sempre que necessário pela paciência prestada em todos os momentos, pelo tempo e força dispensados;
- Ao ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade, que na recta final me permitiu o intervalo crucial á conclusão deste trabalho.
- Por fim, é com firmeza, que a quem tenho mais a agradecer por tudo que me proporcionaram, por serem a ponte iluminada que me permitiu passar pelos momentos mais difíceis, a minha família, namorada e filho.

**palavras-chave**

Patologias, causas, Obras-de-arte e betão armado.

**resumo**

Esta dissertação com título Patologias em Obras de Arte, pretende analisar anomalias e suas causas, em obras-de-arte de betão armado.

Este tema tem despertado a atenção da comunidade científica na área da engenharia, mas também a da sociedade em geral. As pontes, viadutos e passagens são, para o utente, mais do que uma estrutura de betão, mais do que uma obra de arte, são património de vida, passagens de margem, caminhos diários de rotina, património do seu quotidiano.

No território nacional existem mais de 10.000 obras-de-arte de variados esquemas estruturais, metálicas, mistas, de alvenaria, de betão, pré-fabricadas, com pré-esforço exterior, de madeira, e outros, com diferentes idades e diferentes utilizações, expostas a diferentes tipos de agressividades.

A dissertação inicia com um enquadramento das obras-de-arte, descrevendo os seus esquemas estruturais mais comuns, os seus componentes e as patologias mais frequentes.

Nos capítulos seguintes, é apresentado um estudo estatístico, feito com base na análise de relatórios de inspecção feitos a este tipo de obras.

Com base nos resultados são feitas relações entre as patologias, as suas causas, a posição geográfica das obras, a classe de exposição ambiental a que estão expostas e alguns índices de qualidade de construção.

Estabelecendo possíveis tendências de comportamento, que possam ser interessantes para um qualquer sistema de gestão de obras-de-arte.

**keywords**

Pathologies, causes, RC Bridges.

**abstract**

This dissertation means to show the most common pathologies in RC Bridges, and their causes.

This agenda concerns everyone, not just the scientific community but all those who use these structures every day without even noticing. It's a theme that motivates several and daily conversations among everyone, because bridges are, for better or for worst vital structures to a society that implies to its citizens a dynamic accessibility to everywhere any time.

The study begins with the analyses of inspections reports made at RC bridges all over the country.

In a first analysis, it's determined the most affected components and most common pathologies, which affect them.

Having a good idea of the pathologies, it gets even furtherer, by trying to understand their causes, not just those that appear just before, but those which were in the very birth of each anomaly.

After theses first conclusions, some indirect relations are analyzed, such as, pathologies and the geographical positioning of the affected bridges, pathologies and the environmental exposure class, at last pathologies with the quality of the construction.

With this work, the author means to get some tendencies that may be useful to the scientific community that manages these important structures.

## Índice

1.2 – Enquadramento .....	3
1.3 – Objectivos.....	4
1.4 – Estrutura da Tese.....	5
2.1 – A evolução do sistema estrutural das pontes de betão .....	7
2.2 - A evolução da utilização do betão.....	12
2.3 Componentes de uma obra-de-arte .....	14
2.3.1 Tabuleiro .....	14
2.3.2 Apoios intermédios .....	16
2.3.3 Aparelhos de apoio.....	17
2.3.4 Encontros.....	18
2.3.5 Juntas de dilatação.....	19
2.3.6 Taludes.....	20
2.3.7 Muros.....	21
2.3.8 Cornijas .....	21
2.3.9 Guarda-corpos e Acrotérios .....	21
2.3.10 Guarda de segurança .....	22
2.3.11 Passeios.....	23
2.3.12 Sistema de Drenagem.....	23
2.3.13 Outros componentes.....	24
3.2 Ilustração e descrição de patologias em obras de arte de betão armado .....	26
3.2.1 Patologias no betão .....	26
3.2.2 Patologias nos elementos acessórios .....	33
4. Sistema de classificação das causas possíveis das patologias em pontes de betão .....	38



4.1 Erros de projecto .....	38
4.2 Erros de execução.....	39
4.3 Acções de acidente de origem humana.....	39
4.4 Acções de acidente naturais .....	40
4.5 Acções ambientais .....	40
4.6 Agentes Agressivos Naturais.....	40
4.7 Agentes Agressivos Artificiais.....	40
4.8 Falta de Manutenção .....	41
4.9 Alteração das condições de serviço inicialmente previstas .....	41
5.2 Fontes de Informação.....	44
5.3 Caracterização dos casos de estudo.....	45
5.4 Componentes analisados.....	46
5.5 Patologias registadas.....	46
<i>Patologias registadas na face inferior do tabuleiro.....</i>	<i>46</i>
<i>Patologias registadas nos apoios intermédios – pilares.....</i>	<i>46</i>
<i>Patologias registadas nos encontros.....</i>	<i>47</i>
<i>Patologias registadas nos aparelhos de apoio .....</i>	<i>47</i>
<i>Patologias registadas nas juntas de dilatação .....</i>	<i>47</i>
<i>Patologias registadas nos taludes .....</i>	<i>48</i>
<i>Patologias registadas nos muros.....</i>	<i>48</i>
6.1 Distribuição da ocorrência de patologias nos componentes das obras-de-arte. ...	49
6.2 Análise Individual dos Componentes .....	51
6.2.1 Patologias na face Inferior do Tabuleiro .....	51
6.2.1.1 Causas do descasque de betão no tabuleiro.....	51
6.2.1.2 Causas da exposição de armaduras no tabuleiro .....	52
6.2.1.3 Causas do aparecimento de manchas e eflorescências no tabuleiro.....	53
6.2.1.4 Causas do aparecimento fissuração no tabuleiro .....	54
6.2.1.5 Causas defeitos de betonagem no tabuleiro.....	55
6.2.1.6 Causas das deformações no tabuleiro .....	56
6.2.2 Patologias nos Apoios Intermédios – Pilares .....	56
6.2.2.1 Causas da exposição de armaduras nos apoios intermédios .....	57

6.2.2.2 Causas dos defeitos de betonagem nos apoios intermédios.....	58
6.2.2.3 Causas da fissuração nos apoios intermédios.....	58
6.2.2.4 Causas do crescimento de vegetação nos apoios intermédios.....	59
6.2.2.5 Causas do descalçamento de fundações nos apoios intermédios .....	60
6.2.3 Patologias nos Aparelhos de apoio .....	60
6.2.3.1 Causas da corrosão/envelhecimento dos aparelhos de apoio .....	61
6.2.4 Patologias nos Encontros.....	62
6.2.4.1 Causas do aparecimento de manchas e escorrências nos encontros .....	63
6.2.4.2 Causas da fissuração nos encontros .....	64
6.2.4.3 Causas dos defeitos de betonagem nos encontros .....	64
6.2.4.4 Causas da exposição de armaduras nos encontros .....	65
6.2.4.5 Causas do crescimento de vegetação nos encontros .....	66
6.2.4.5 Causas das deformações nos encontros .....	66
6.2.4.6 Causas do descalçamento de fundações nos encontros .....	66
6.2.5 Patologias na junta de dilatação .....	66
6.2.5.1 Causas das patologias na junta de dilatação .....	68
6.2.6 Patologias nos muros.....	68
6.2.6.1 Causas da fissuração nos muros .....	69
6.2.6.2 Causas dos defeitos de betonagem nos muros .....	70
6.2.6.3 Causas do crescimento de vegetação nos muros .....	70
6.2.6.4 Causas das deformações nos muros .....	70
6.2.6.5 Causas das manchas e escorrências nos muros.....	71
6.2.7 Patologias no revestimento da via .....	71
6.2.8 Patologias nos taludes .....	72
6.2.8.1 Causas da acumulação de detritos e vegetação nos taludes .....	73
6.2.8.2 Causas da erosão e desmoronamento dos taludes.....	73
6.2.8.3 Causas da rotura parcial dos taludes .....	73
6.2.9 Patologias nos sistemas de drenagem .....	74

6.3	Análise geral da ocorrência de patologias no betão armado .....	75
6.4	Correlação entre patologia ano de construção .....	76
6. 5	Correlação entre patologia e ambiente em que se insere a obra.....	78
6.5.1	Classes de exposição segundo anterior ENV 206 .....	78
6.5.2	Classes de exposição segundo anterior E378.....	80
6.5.3	Interior vs. Zona Costeira Marítima.....	81
6.6	Relação entre o registo de erros de execução e a idade das construções .....	83
6.7	Relação entre patologias e o registo de erros de execução .....	83
7.1	Conclusões das Análises Directas .....	85
	Distribuição das patologias nos componentes .....	85
	Face inferior do Tabuleiro .....	86
	Apoios Intermédios - Pilares .....	86
	Aparelhos de Apoio.....	86
	Encontros.....	87
	Juntas de Dilatação .....	87
	Muros.....	87
	Revestimento da Via.....	87
	Taludes.....	88
	Sistema de Drenagem.....	88
7.2	Conclusões das Análises Indirectas.....	88
	Patologia vs. Tempo .....	88
	Patologia vs. Exposição Ambiental .....	89
	Patologia vs. Localização Geográfica .....	89
	Patologia vs. Erros de Execução .....	89
7.3	Considerações finais.....	90
7.4	Desenvolvimentos Futuros .....	90

Bibliografia

Anexo – Terminologia

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Viaduto da Gulbenkian (Tramo isostático apoiado sobre as consolas encastradas nos encontros).....	8
Figura 2.2 – Laje do tabuleiro realizada com vigas pré-fabricada.....	14
Figura 2.3 – Laje do tabuleiro com vigas betonadas “in situ”.....	14
Figura 2.4 – Ponte A1 Sacavém arco inferior ao tabuleiro.....	15
Figura 2.5 - Tabuleiro atirantado Ponte Vasco da Gama.....	15
Figura 2.6 – Pilar bi-articulado da ponte de Lanheses.....	16
Figura 2.7 – Pilares encastrados apenas na base da ponte de Lanheses.....	16
Figura 2.8 – Batente em neoprene a aplicar na ligação do tabuleiro a um encontro fixo.....	17
Figura 2.9 – Aparelho de apoio tipo “pot bearing”, unidireccional.....	17
Figura 2.10 – Aparelho de apoio de roletes.....	18
Figura 2.11 – Encontro de um viaduto em terra armada.....	18
Figura 2.12 – Encontro Fechado em cofre da ponte de Lanheses.....	18
Figura 2.13 – Junta do tipo water-stop, aplicação no reservatório Flor da Serra.....	19
Figura 2.14 -Ponte da Figueira da Foz, pormenor da junta de dilatação metálica de dentes.....	19
Figura 2.15 – Junta de dilatação metálica, “pantógrafo”, da ponte de Lanheses.....	20
Figura 2.16 – Vista do talude revestido, passagem superior IC1.....	20
Figura 2.17 – Guarda corpos da ponte de Lanheses.....	22
Figura 2.18 – Acrotério em betão armado de uma Passagem superior (A17).....	22
Figura 2.19 -Ponte da figueira da Foz, pormenor do passeio.....	23
Figura 2.20 – Tubo de escoamento do sistema de drenagem.....	24

Figura 6.1 – Ocorrência de patologias nos componentes das Obras-de-Arte.....	50
Figura 6.2 – Patologias que afectam a face inferior do tabuleiro.....	51
Figura 6.3 – Causas do descasque de betão no tabuleiro.....	52
Figura 6.4 – Causas da exposição de armaduras no tabuleiro.....	52
Figura 6.5 – Causas do aparecimento de manchas e eflorescências no tabuleiro.....	53
Figura 6.6 – Causas da fissuração de betão no tabuleiro.....	54
Figura 6.7 – Patologias que afectam os pilares.....	57
Figura 6.8 – Causas da exposição de armaduras nos apoios intermédios.....	58
Figura 6.9 – Causas da fissuração de betão nos apoios intermédios.....	59
Figura 6.10 – Patologias nos aparelhos de apoio.....	60
Figura 6.11 – Causas da corrosão/envelhecimento dos aparelhos de apoio.....	61
Figura 6.12 – Patologias nos encontros.....	62
Figura 6.13 – Causas do aparecimento de manchas e escorrências nos encontros.....	63
Figura 6.14 – Causas da fissuração nos encontros.....	64
Figura 6.15 – Causas da exposição de armaduras nos encontros.....	65
Figura 6.16 – Patologias nas juntas de dilatação.....	67
Figura 6.17 – Patologias nos muros.....	68
Figura 6.18 – Causas da fissuração nos muros.....	69
Figura 6.19 – Causas das deformações nos muros.....	70
Figura 6.20 – Patologias nos taludes.....	72
Figura 6.21 – Causas da erosão e desmoronamento dos taludes.....	73
Figura 6.22 – Causas da rotura parcial dos taludes.....	74
Figura 6.23 – Ocorrência de patologias nas obras de arte.....	75
Figura 6.24 – Evolução da ocorrência de fissuração e retracção de betão assim como exposição de armaduras no tempo.....	76
Figura 6.25 – Evolução da ocorrência de fissuração e retracção de betão assim como exposição de armaduras no tempo.....	78

Figura 6.27 – Relação das patologias com as classes de exposição ambiental 2a e 2b (ENV206).....	79
Figura 6.28 – Relação corrosão de armaduras com a classe de exposição segundo a acção da carbonatação.....	81
Figura 6.29 – Distritos Interiores vs. Distritos com Zona Costeira.....	82
Figura 6.26 – Evolução do registo de erros de execução no tempo.....	83
Figura 6.30 – Relação do registo de erros de execução com a ocorrência de patologias.....	84

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Patologias do betão armado.....32

Tabela 3.2 – Patologias em elementos acessórios.....36

Tabela nº5.1 – Distribuição geográfica dos casos de estudo.....45

## Capítulo 1

### Introdução e Enquadramento

A presente dissertação pretende debruçar-se sobre assunto as patologias e suas causas em obras-de-arte. Este tema tem despertado a atenção da comunidade científica na área da engenharia, mas também a da sociedade em geral. As pontes são, para o utente, mais do que uma estrutura de betão, mais do que uma obra de arte, são património de vida, passagens de margem, caminhos diários de rotina, património do seu quotidiano.

No território nacional existem mais de 10.000 obras-de-arte de variados esquemas estruturais, metálicas, mistas, de alvenaria, de betão, pré-fabricadas, com pré-esforço exterior, de madeira, e outros, com diferentes idades e diferentes utilizações, expostas a diferentes tipos de agressividades.

Cada uma deve ser interpretada no meio em que se insere, com as cargas a que está diariamente sujeita, o ambiente a que está exposta e a época em que foi construída. Uma grande parte das obras que estão a ser reabilitadas e/ou reforçadas nos nossos dias são obras que datam de á 20 a 25 anos, construídas portanto á luz do que era a realidade científica da época. Esta realidade está em constante mutação, as exigências regulamentares mudam, os materiais mudam, e essencialmente o conhecimento sobre o comportamento dos materiais a médio longo prazo também muda. Hoje em dia é do senso comum que o betão além de ter uma forte função estrutural em qualquer construção que componha, tem uma durabilidade mensurável, que está directamente ligada á necessidade de manutenção, ao ambiente a que está exposto, assim como á melhor ou pior qualidade de execução. Este factos não eram assim tão explícitos á cerca de 30 anos, o que certamente introduz agora, 30 anos depois, a necessidade de rever procedimentos, conservar e manter estruturas e sempre que necessário implementar procedimentos de reabilitação e reforço.



Torna-se crucial apreender com as obras do passado, analisando o seu comportamento ao longo do tempo, percebendo como interagem os materiais, quais os agentes mais agressivos, quais as patologias que ocorrem com maior frequência, as suas causas e como é que a manifestação das patologias afecta o comportamento da estrutura.

Desta forma poder-se-á aplicar algumas medidas preventivas na concepção das estruturas que permitam evitar futuras intervenções de reabilitação que normalmente acarretam elevados custos, tanto económicos, como sociais, interferindo normalmente com o quotidiano das pessoas que por elas transitam diariamente.

É importante compreender que por vezes o aparecimento de uma patologia no material X pode estar relacionada com o comportamento do material Y. Por exemplo, é frequente encontrar-se betão que sofre de descasques e delaminações. O que nos leva a afirmar que a patologia visível é o descasque do betão, no entanto após uma análise mais cuidada podemos verificar que sob o betão que está agora “solto” encontram-se armaduras oxidadas, cuja reacção com oxigénio deu origem ao óxido de ferro. Esta reacção expansiva nas armaduras tem como consequência directa o aumento de volume que provoca tensões de tracção no betão e consequente descasque.

Ou seja, visivelmente é o betão que está afectado, podendo levar a crer tratar-se de um problema de composição do betão ou de má aplicação, no entanto o betão pode ter bons índices de compacidade, e excelente resistência, se não apresentar suficiente recobrimento numa determinada secção, não oferecerá á armadura protecção suficiente á agressividade do meio levando á sua corrosão. Este assunto surge de forma mais sistematizada nos capítulos seguintes.

A presente tese pretende determinar as patologias em obras de arte e caracterizá-las qualitativamente enquanto processo base de determinação de meio e de causa que levará à melhor prescrição de tratamento.

## 1.2 – Enquadramento

A temática em si é actual e tem sido constantemente abordada nas “conversas de rua”, tanto nos meios mais técnicos directamente associados á engenharia como em todos os outros. Nem sempre pelas melhores razões é certo mas sempre com elevado sentido de importância e actualidade.

A motivação para desenvolver uma dissertação nesta área tem vindo a ser amadurecida por todo um percurso pessoal ligado às obras-de-arte. Um percurso que iniciou no desenvolvimento de um trabalho que marcou o fim de uma licenciatura, e que felizmente me impulsionou para os primeiros passos no mundo do trabalho. Um trabalho que fez a primeira reflexão conceptual numa área da engenharia que se abre, face ao património edificado e muito pouco desenvolvida pelos programas curriculares da formação académica.

A consolidação deste interesse surgiu num encontro de vontades, numa vertente mais profissional e menos académica no primeiro emprego enquanto engenheiro residente da Fiscalização na empreitada de reabilitação e reforço estrutural de uma obra-de-arte, projectada pelo Professor Edgar Cardoso, génio mentor de escola de projectistas actuais. Uma obra com um funcionamento estrutural no mínimo peculiar, um caso na época único com um tabuleiro continuo de 1218m em betão armado e pré-esforçado, apoiado sobre pilares de forma elíptica que funcionaram durante cerca de 25anos como pêndulos.

### 1.3 – Objectivos

O objectivo deste trabalho prende-se com o estudo de obras-de-arte de betão armado e pré-esforçado. Retirou-se do universo de estudo obras de arte de alvenaria e metálicas, monumentos edificados á Engenharia, para conter a dispersão e afinou-se o critério de selecção para as obras mais recentes, concebidas numa dinâmica de betão armado e/ou pré-esforçado.

Coloca-se a tónica no estudo das causas apontadas como possíveis para a ocorrência de patologias. Partindo de uma lista de patologias mais frequentes, e avaliando as causas que são mais frequentemente indicadas, procurando relacionar a ocorrência da patologia com o meio em que a obra se insere, usando, para isso, a sua localização geográfica e a respectiva classificação de exposição ambiental.

Pretende-se pela consulta autorizada de relatórios de inspecção a obras-de-arte, efectuados nos últimos 5 anos, sendo a maioria dos últimos dois, através de uma análise estatística obter correlações entre as patologias, causas, meio ambiente e elementos afectados. Na expectativa destes resultados serem úteis para a toda comunidade que directa ou indirectamente tem influência na concepção, execução, inspecção, manutenção e reforço das obras-de-arte.

## 1.4 – Estrutura da Tese

Feita a introdução o enquadramento, as motivações e os objectivos da dissertação, pretende-se desenvolvê-la da seguinte forma:

- Capítulo 2. Obras-de-arte, Evolução e Componentes:
  - Origem da utilização do betão nas pontes;
  - Descrição de alguns esquemas estruturais possíveis;
  - Descrição e ilustração dos seus componentes;
- Capítulo 3. Patologias em Obras de Betão Armado:
  - Conceito de patologia;
  - Descrição e ilustração das patologias mais frequentes em obras de betão armado;
- Capítulo 4. Causas das Patologias:
  - Conceito de causa;
  - Sistema de classificação das causas de anomalias em pontes de betão;
- Capítulo 5. Origem e Enquadramento da análise estatística:
  - Origem da informação recolhida;
  - Caracterização das obras que vão compor o universo da análise;
  - Descrição de como a informação é recolhida e quais os dados importantes para o estudo em causa;
  - Indicação das patologias registadas;
- Capítulo 6. Análise estatística;
  - Distribuição da ocorrência de manifestações patológicas nos vários componentes das obras-de-arte;

- Analise das patologias mais frequentes em cada componente, assim como as suas causas;
  - Correlação entre a idade das obras e o aparecimento de algumas patologias;
  - Influência dos ambientes na ocorrência de algumas patologias;
- 
- Capítulo 7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros
  - Bibliografia
  - Anexos

## Capítulo 2

### Obras-de-Arte – Evolução e Componentes

Neste capítulo serão apresentados alguns esquemas estruturais mais correntes em pontes de betão, assim como a evolução da utilização do betão. São ainda descritos e ilustrados os componentes das obras-de-arte.

#### 2.1 – A evolução do sistema estrutural das pontes de betão

Inicialmente as lajes eram apenas utilizadas para pequenos vãos, as pontes vigadas podiam ser constituídas por vigas contínuas ou por um sistema de consolas. Tiveram aplicações de várias formas, quer como vigas laterais, vigas sob o pavimento, de altura constante ou variável, de alma cheia ou triangular. Assim, o tabuleiro era construído por lajes com uma espessura de cerca de 15 cm que assentavam sobre vigas (nervuras).

O sistema “cantilever”, (das consolas) foi muito usado por ser fácil de calcular e de, com ele, se conseguir vãos razoáveis. Se o vão é razoável convém ter maior altura no apoio do que no vão o que leva à utilização de vigas de altura variável. Ora, contrariamente às vigas contínuas, o sistema de viga “cantilever” é isostático. O mais corrente, é o de a parte central ser uma viga simplesmente apoiada sobre as consolas encastradas nos encontros ou sobre as consolas provenientes dos tramos extremos.



Figura 2.1 – Viaduto da Gulbenkian (Tramo isostático apoiado sobre as consolas encastradas nos encontros)

Entre o tipo de viga contínua e o “cantilever” encontra-se um outro tipo de pontes articuladas no centro do vão. São, tal como as vigas “cantilever”, estruturas isostáticas sob as acções da carga permanente e sob cargas simétricas. A articulação central só serve para transmitir os esforços transversos provocados por carregamentos não simétricos e para impedir os deslocamentos transversais.

Os arcos em betão armado são muito numerosos, uma vez que as propriedades do betão são semelhantes às da pedra e como tal resistente à compressão. Os arcos triarticulados foram muitas vezes escolhidos pelos projectistas uma vez que são estruturas isostáticas, mais fáceis de calcular do que as hiperestáticas, limitando os esforços provocados pelas variações de temperatura, retracção do betão e assentamentos diferenciais de apoio. Só posteriormente com o desenvolvimento dos meios de cálculo, se passou a tirar partido da hiperestaticidade. Muitos dos arcos de grande porte são encastrados tendo a solução de arcos biarticulados sido menos utilizada.

Normalmente, o arco e o tabuleiro são duas peças distintas. Quando o tabuleiro é superior ao arco, apoia-se em pilares que por sua vez se apoiam no arco (pontes modernas) ou então sobre tímpanos que são cheios de pedra e material granular (pontes antigas). Quando o tabuleiro é inferior ao arco é suspenso deste.

Os progressos feitos na qualidade dos cimentos e na composição dos betões permitiram um aumento significativo das tensões de utilização e como tal permitiram obras mais leves assim como disposições construtivas e métodos de execução mais simples.

Até aos anos 60, os arcos em betão armado foram muito utilizados sobretudo para grandes vãos ( $\approx 250$  m), mas o domínio do betão armado foi totalmente transformado com o desenvolvimento do betão pré-esforçado.

Foi assim que as obras em arco, económicas em material e muito duráveis, com formas lógicas e agradáveis à vista, foram caindo em desuso, sendo substituídas pelas pontes vigadas metálicas ou em betão pré-esforçado, uma vez que o cimbres daquelas era muito oneroso. Assim, surgiu a necessidade de nas comparações económicas não ter em conta apenas os materiais utilizados mas também o método construtivo, a mão-de-obra e os detalhes de execução que passaram a pesar cada vez mais no preço final das obras.

Após a 2ª guerra, e depois de ter ficado tudo destruído foi necessário reconstruir tudo, com o menor custo possível, e como tal, foi preciso inovar sem ter regulamentos nem referências. Foi então que surgiu a primeira obra construída por aduelas pré-fabricadas em consola suportadas por pré-esforço. Para a ancoragem dos cabos foi utilizado o sistema de cones que ainda hoje se utiliza. Rapidamente se começaram a atingir vãos de 50 m para vãos isolados e de 30 m para vãos contínuos [4].

Nas pontes de 1ª geração utilizavam-se várias vigas longitudinais colocadas lado a lado com os banzos superiores afastados de cerca de 10 cm, intervalos esses que eram depois betonados. Normalmente, as distâncias entre eixos destas vigas não excediam 1,10 m a 1,20 m e tinham almas estreitas de cerca de 12 cm. Para fazer a ligação entre as vigas o tabuleiro era pré-esforçado transversalmente. Assim, foram construídos bastantes viadutos com vãos que chegaram a atingir os 50 m.

Logo que os construtores franceses utilizaram e desenvolveram a técnica das vigas isostáticas pré-fabricadas com vãos até 50 m, os construtores alemães começaram a prever vãos superiores de construção em consola, betonados "in situ". Passaram-se então a conseguir vãos com mais de 100 m, que dispensavam os grandes cimbres utilizando pequenos cimbres móveis que avançavam a partir dos pilares.

Inicialmente, estas obras eram fechadas a meio vão por uma articulação central que só transmitia as forças verticais o que transformava as vigas em isostáticas para as cargas permanentes. Os tramos extremos eram apoiados nos encontros.

A partir dos anos 60 deu-se a grande expansão do betão pré-esforçado. Até aí só cerca de 15 % das obras eram em betão armado pré-esforçado, sendo hoje mais de 90 %. Começaram então a construir-se muitos tabuleiros constituídos por lajes planas contínuas de espessura constante com vãos  $< 23$  m e viés  $< 30$ . Para vãos superiores



utilizavam-se lajes aligeiradas com vazios de secção circular ou heptagonal, de secção variável, ou então lajes vigadas. Estas lajes são quase sempre apoiadas em pilares.

Depois, para vãos até 50 m começaram a ser usadas as vigas pré-fabricadas pré-esforçadas colocadas lado a lado, afastadas 2,5 m a 3,5 m, sendo depois a laje superior betonada "in situ" e pré-esforçada transversalmente ou não, consoante a largura da ponte. O vão mais económico para este tipo de estrutura era de 30 m.

Se a largura das vigas é bastante grande face à sua altura, estes tabuleiros consideram-se lajes vigadas.

Quando o vão dos tabuleiros começou a ser muito grande passaram a utilizar-se vigas em caixão, que são mais difíceis de betonar e mais caras. No entanto estas têm um bom comportamento numa obra em curva relativamente à torção e melhor comportamento na resistência à rotura nas zonas de apoio.

Quando deixou de ser possível utilizar o cimbre apoiado no solo foram criados outros métodos na construção de vigas contínuas: cimbres auto-portantes e auto-lançáveis que podem ser superiores ou inferiores permitindo construir um tabuleiro em caixão, por vigas ou por laje nervurada.

Ao deixar de se colocar articulações centrais para se passar a ter tabuleiros contínuos passou-se a ter obras mais fáceis de manter, mais agradáveis à vista e acima de tudo mais confortáveis e agradáveis aos automobilistas, além de que as deformações diferidas foram substancialmente reduzidas (de 5 para 1) e ainda por cima estas deformações são contínuas em toda a obra. Para além destas razões todas a obra sofre ainda um aumento de resistência graças à hiperestaticidade.

No entanto, o cálculo destas obras passou a ser muito mais trabalhoso e a sua execução mais complicada, mas as vantagens que daqui se tiram são francamente mais vantajosas.

As pontes construídas por avanços sucessivos em consola são as que têm sofrido maior desenvolvimento e melhoramentos sendo actualmente utilizadas para vãos superiores a 60 m podendo até atingir os 300 m.

As obras de avanços tanto podem ser feitas com aduelas pré-fabricadas como betonadas "in situ". Se forem pré-fabricadas têm algumas vantagens. Não só o betão fabricado em estaleiro é melhor que o fabricado "in situ" como as deformações devidas à retracção e à fluência são menores. Há, por outro lado, alguns inconvenientes, como seja a falta de armaduras passivas para a transmissão de

eventuais tracções, a incerteza quanto à estanqueidade e a dificuldade de continuidade nas bainhas de pré-esforço e da sua injeção

Os dois métodos são utilizados concorrencialmente consoante o caso. A pré-fabricação implica umas instalações e um equipamento especial só justificável para um grande número de aduelas. E ainda necessita de espaço para "stockagem" das peças realizadas.

Uma solução intermédia entre o tabuleiro contínuo e o da articulação central é a do tramo central apoiado em consolas partindo de ambos os lados do vão. Os pontos de apoio devem ser nas proximidades dos pontos de momento nulo.

Uma outra família de pontes é constituída pelos arcos que, como se viu anteriormente, têm o inconveniente do custo do cimbra. Ultimamente já se têm feito arcos atirantados com tabuleiro superior por aduelas betonadas em consola com equipamentos móveis. O pré-esforço é necessário para assegurar a resistência durante a construção. Esta solução é sempre agradável à vista mas só é viável em condições muito especiais.[4]

## 2.2 - A evolução da utilização do betão

Já no séc. III A.C. os Romanos utilizavam ligantes hidráulicos, argamassa de cal e, em certas construções, cais hidráulicas. Estas eram obtidas por uma mistura de cal e cinzas vulcânicas da região de Pouzzoles, que tinham as propriedades de um cimento: grande resistência à compressão, aos agentes atmosféricos e à água. Esta técnica foi depois abandonada, tendo os construtores passados a fazer uso da cal magra e da cal gorda [4].

Só nos finais do séc. XVIII foram redescobertos os cimentos naturais fabricados a partir de cinzas ou de rochas: pozolanas d' Auvergne e rochas argilo-calcárias da Ilha de Sheppy. Por volta de 1850 começou a fabricação industrial do cimento Portland, que foi sendo melhorada no fim do século graças à investigação de Le Chatelier [4].

No início, o betão começou por ser uma pedra artificial a que se dava forma consoante a cofragem que se aplicava. Assim, os projectistas adoptavam muitas vezes formas imitando as construções anteriores.

Quando se percebeu como se podia aplicar facilmente quer o cimento quer o ferro, começaram a surgir de diferentes partes a ideia de juntar os dois materiais. Foi assim que nasceu o betão armado.

Inicialmente, começou por se pensar que a armadura reforçava o betão sem se saber bem como, ou então que o betão servia essencialmente para proteger a armadura. Cada um utilizava o seu sistema de comportamento assim como as suas disposições construtivas e cálculo sem se ter criado uma teoria geral sobre o betão armado.

Foi Monier quem criou as primeiras regras do betão e da armadura na resistência da peça, sendo depois as suas ideias desenvolvidas por outros engenheiros. Só nos finais do séc. XIX é que se desenvolveram as investigações experimentais. Foi então elaborado um regulamento sobre o novo modo de construção substituindo as regras e os métodos empíricos até então utilizados. Surgem assim os primeiros regulamentos no início do séc. XX, que favoreceram a utilização do betão armado. A partir daqui, a construção de pontes em betão armado sofreu um grande desenvolvimento, utilizando essencialmente os três grandes tipos das primeiras realizações: laje, viga e arco.

Graças à experiência adquirida pelos construtores e aos trabalhos teóricos dos investigadores foi possível entender melhor o comportamento do betão armado, atenuando os problemas surgidos nas primeiras obras. Pelo menos, foi possível diminuir a fissuração a partir de melhores métodos construtivos e de uma distribuição das armaduras mais criteriosa. Assim, foi-se evoluindo até se chegar ao betão pré-

esforçado onde se pretendeu eliminar toda a fissuração. A regulamentação, iniciada no séc. XX tem conhecido uma constante evolução, muito acentuada nos tempos mais recentes.

O custo, quer do betão armado quer do betão pré-esforçado, tornou-se muito competitivo face ao custo do aço e ainda por cima com as vantagens de uma melhor protecção das armaduras contra a corrosão.

Tem-se vindo a verificar que a utilização do betão não foi tão boa nem tão durável como inicialmente se previa, acabando a agressividade do meio ambiente por corroer as armaduras ao fim de umas décadas. Um dos principais problemas deste material é a fissuração do betão, que permite a penetração da água provocando a oxidação das armaduras que ao aumentarem de volume devido à corrosão alargam as fissuras. Assim, este processo vai-se agravando até delaminar o betão superficial. Devido a este processo tem sido necessário substituir muitas obras e submeter muitas outras a tratamentos especiais para as proteger.

O pré-esforço surgiu como forma de reduzir a fissuração, uma vez que esta não pode ser suprimida, pois faz parte do fenómeno normal e intrínseco do funcionamento do betão. Na altura em que surgiu a ideia do pré-esforço ainda não se conhecia o fenómeno da fluência.

O encurtamento do betão devido à retracção e à fluência, que são da mesma ordem de grandeza, não permitia deixar folga na compressão para compensar os esforços de tracção que iriam surgir.

Logo que as forças artificiais constantemente aplicadas foram tais que impediam os esforços de tracção deixou de ser o aço a resistir para ser apenas o betão a resistir, uma vez que estava sempre comprimido devido ao pré-esforço. O princípio de funcionamento deste novo material é totalmente diferente do betão armado.

Só mais tarde é que se descobriu a deformação diferida do betão (reologia do betão). É nesta época que se põe em causa o facto do módulo de elasticidade do betão se manter constante.

Para compensar as deformações diferidas provocadas pela retracção, fluência e relaxação das armaduras, era necessário introduzir um estado de tensão inicial muito elevado, o que não era possível com varões de aço, sendo necessário utilizar fios de aço com uma elasticidade muito elevada. Foi Freyssinet quem descobriu e divulgou este método. [4]

## 2.3 Componentes de uma obra-de-arte

### 2.3.1 Tabuleiro

O tabuleiro de pontes ou viadutos pode ser realizado com lajes que podem ser nervuradas, vigadas betonadas em "situ" ou vigas pré-fabricadas, vigas caixão betonadas em "situ" ou aduelas pré-fabricadas.



Figura 2.2 – Laje do tabuleiro realizada com vigas pré-fabricadas



Figura 2.3 – Laje do tabuleiro com vigas betonadas "in situ";

Quanto à estrutura de suporte do tabuleiro podem distinguir-se as seguintes: Viga treliçada com tabuleiro inferior ou superior, contraventamento inferior, superior, ou transversal, arco inferior ou superior, tirantes ou cabos de suspensão.



Figura 2.4 – Ponte A1 Sacavém arco inferior ao tabuleiro.



Figura 2.5 - Tabuleiro atirantado Ponte Vasco da Gama

O pavimento das vias rodoviárias do tabuleiro pode ser realizado em betão armado, betuminoso, betuminoso sobre binder, balastro ou revestimento epoxi com agregados e outros.

### 2.3.2 Apoios intermédios

Os apoios intermédios, pilares, podem assumir as mais variadas formas, e esquemas estruturais. Podem surgir como bi-encastados, bi-articulados, ou ainda apenas encastados na base como é o caso mais comum nas obras-de-arte construídas nos últimos anos, implicando assim o uso de aparelhos de apoio que materializam a sua “ligação” ao tabuleiro.



Figura 2.6 – Pilar bi-articulado da ponte de Lanheses



Figura 2.7 – Pilares encastados apenas na base da ponte de Lanheses

### 2.3.3 Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio localizam-se nos encontros e apoios intermédios. Podem ser unidireccionais, unidireccionais elásticos, bidireccionais, bidireccionais elásticos, fixos, anti-sísmicos, batentes, sendo os dois últimos só aplicáveis nos apoios dos encontros.

Os apoios intermédios podem ser realizados por pilares simples ou reforçados com capitéis, por vigas transversais sobre pilares ou ainda por muro/parede contínua.

Os aparelhos de apoio podem ser realizados em aço, neoprene simples, neoprene armado/cintado, neoprene armado/cintado e teflon, aço com teflon e chumbo.



Figura 2.8 – Batente em neoprene a aplicar na ligação do tabuleiro a um encontro fixo.



Figura 2.9 – Aparelho de apoio tipo "pot bearing", unidireccional.





Figura 2.10 – Aparelho de apoio de roletes.

### 2.3.4 Encontros

Os tipos de encontros geralmente usados são: Muro de testa, mesa apoiada sobre a fundação, mesa apoiada em fustes, terra armada, tipo “cofre”, pilar-encontro.



Figura 2.11 – Encontro de um viaduto em terra armada



Figura 2.12 – Encontro Fechado em cofre da ponte de Lanheses

### 2.3.5 Juntas de dilatação

As juntas de dilatação são um elemento estrutural que pela sua importância para prevenção de patologias devem ser cuidadosamente executadas. Consideram-se dois tipos: juntas de dilatação nos encontros, fixas ou móveis, ou juntas de dilatação na obra, longitudinais ou transversais, na ligação montante-muro, em muros etc.

As juntas de dilatação nos encontros poder ser em aço, neoprene simples, neoprene armado/cintado, betume e pedra. As juntas em obra, para além dos materiais citados, podem ser em cordão expansivo e mástique, cordão de selagem em mástique ou membrana “water-stop”.



Figura 2.13 – Junta do tipo water-stop, aplicação no reservatório Flor da Serra.



Figura 2.14 -Ponte da Figueira da Foz, pormenor da junta de dilatação metálica de dentes



Figura 2.15 – Junta de dilatação metálica, “pantógrafo”, da ponte de Lanheses.

### 2.3.6 Taludes

Podem considerar-se taludes em Saia, quando a modelação do terreno é feita em quarto de cone e lateral à obra de arte; taludes em rampa lateral à via, quando é feita a modelação do terreno em escavação ou aterro lateral à via superior ou à via inferior; quando a sua modelação do terreno é feita em cunha sob a obra de arte designa-se talude em rampa sob a obra.



Figura 2.16 – Vista do talude revestido, passagem superior IC1

Os revestimentos da superfície do talude podem dividir-se em revestimentos tratados e não tratados. Considera-se tratado qualquer tipo de revestimento superficial colocado no local, destinado a conferir maior grau de impermeabilização, a favorecer esteticamente o talude ou a evitar o seu ravinamento, e que poderá exigir trabalhos de manutenção ao longo do tempo. Os revestimentos não tratados são os naturais do local em geral sem exigências de manutenção que não sejam de limpeza e desmatização.

Os materiais mais usados em revestimentos de superfície são pedra arrumada, terra vegetal, elementos pré-fabricados, gravilha, geotêxtil com vegetação rasteira.

### 2.3.7 Muros

Elementos de contenção de terras adjacentes à obra de arte, monolíticos com esta ou separados por junta de dilatação. Podem ser do tipo muros de ala, paralelos à via inferior ou formando com esta um ângulo menor que 20 graus; muros de avenida, paralelos à via superior; asas elementos laterais às mesas dos encontros, encastrados nestas, sem fundação própria; muros de contenção muros que pela sua geometria ou função não devem ser considerados como sendo de ala ou de avenida, como por exemplo os taludes; tímpanos, paramento vertical das obras em arco, para contenção do enchimento no extradorso do arco.

As fundações dos muros podem ser do tipo directas por sapata corrida, indirectas por estacas, semi-directas por poços ou pegões, por melhoramento dos solos, com laje de fundo ou com vigas de fundação.

Os muros podem ser realizados em betão simples, betão armado ou pré esforçado, aço, madeira, gabiões, pedra arrumada, terra armada, paredes moldadas/ancoradas, paredes moldadas/não ancoradas, cortina de estacas/ancoradas, cortinas de estaca/não ancoradas, parede tipo "Berlim", alvenaria de pedra, alvenaria de tijolo ou outros.

### 2.3.8 Cornijas

Consideram-se cornijas os elementos de remate do bordo dos tabuleiros, e podem ser pré-fabricadas, betonadas "in situ" ou de outro tipo. Os materiais mais usados na sua realização são o betão simples ou armado, o aço, madeira, plástico/PVC, pedra natural ou alumínio.

### 2.3.9 Guarda-corpos e Acrotérios

Entende-se como guarda-corpos o elemento que ladeia os bordos do tabuleiro, normalmente colocado sobre a cornija, fixos ao tabuleiro, à cornija ou viga de bordadura, ou, formando um conjunto único com o tabuleiro. Destinados a evitar a

queda de pessoas, estes elementos podem acumular a função de guarda de segurança lateral, caso não existam outros elementos de protecção que evitem a queda de veículos. Consideram-se guarda corpos do tipo pré-fabricado ou feitos em obra.

Entende-se como acrotérios os elementos, normalmente de betão armado ou, em obras mais antigas de pedra natural, que rematam as extremidades dos guarda-corpos. Consideram-se acrotérios feitos em obra ou pré-fabricados.

Estes elementos podem ser realizados em betão simples ou armado, aço, madeira, plástico/PVC, pedra natural fibra de vidro ou alumínio.



Figura 2.17 – Guarda corpos da ponte de Lanheses



Figura 2.18 – Acrotério em betão armado de uma Passagem superior (A17)

### 2.3.10 Guarda de segurança

Estes elementos podem situar-se na lateral ou no centro do tabuleiro. Podem ser do tipo “W” ou “New Jersey” e em betão simples ou armado, aço, madeira, plástico/PVC, pedra natural fibra de vidro ou alumínio.

### 2.3.11 Passeios

Situam-se nas laterais do tabuleiro entre o remate da cornija e o remate do lancil e destinam-se à circulação de peões.

Podem ser acessíveis, quando usados para trânsito pedonal, ou não acessível quando existem exclusivamente para manutenção da obra de arte.

Os passeios podem ser revestidos em terra vegetal, madeira, metal, argamassa esquadrelada, elementos pré-fabricados, relvado, etc.



Figura 2.19 -Ponte da figueira da Foz, pormenor do passeio

### 2.3.12 Sistema de Drenagem

A drenagem deve ser realizada no tabuleiro através de tubos, gárgulas ou sumidouros, caixas de ligação e caleiras, mas deve também prever-se a drenagem nos muros quando existem.



Figura 2.20 – Tubo de escoamento do sistema de drenagem.

### 2.3.13 Outros componentes

Podem ainda destacar-se componentes como: iluminação, escadas, barreiras sonoras, sinalização de tráfego, etc.

## Capítulo 3

### Patologias em Obras de Betão Armado

O betão (armado e/ou pré-esforçado), ao contrário do que talvez se possa pensar, é um material relativamente sensível e que se degrada ao longo do tempo. Daí ser de esperar as construções sofram um natural envelhecimento provocado quer pelo meio ambiente (chuva, sol, poluição, vento) quer pela utilização normal. Por vezes verifica-se um envelhecimento precoce das construções provocadas por outros factores naturais ou artificiais.

Naturalmente, não se vai exigir às construções actuais um tempo de vida semelhante ao de algumas pontes romanas, ainda em serviço mais de 2000 anos após a sua construção. Por outro lado, não são de aceitar situações de acentuada degradação 5 a 10 anos após a construção, como se verifica em alguns casos, nomeadamente pequena fissuração.

*Durabilidade* é a capacidade de manter a funcionalidade de um determinado produto, componente, elemento estrutural ou construção durante um tempo determinado.

*Funcionalidade* é a capacidade que esse elemento tem para cumprir as funções para as quais foi concebido e construído.

*Factor de degradação* é qualquer factor externo que afecte negativamente as características de comportamento estruturais ou materiais.

Designa-se por “*Patologia*” a parte da medicina que estuda as origens, sintomas e natureza das doenças. Quando aplicado à construção civil este termo designa a ciência que estuda os fenómenos que afectam o comportamento de uma construção. A patologia é dividida em estrutural e não estrutural. A “função estrutural” é entendida como a capacidade que uma




construção deve possuir para suportar com segurança as acções, normalmente com carácter de forças ou deformações impostas, que o meio ambiente ou os seus utentes lhe aplicam [6].

### 3.2 Ilustração e descrição de patologias em obras de arte de betão armado

No capítulo 6, será apresentada uma análise estatística realizada a obras de arte de betão armado. Nessa análise, foram encontradas algumas patologias, todas elas de efeitos visíveis, já que foram detectadas apenas por inspecção visual. Na tabela abaixo faz-se uma descrição sumária e ilustração das patologias mais frequentes encontradas. [adaptado de 6]

#### 3.2.1 Patologias no betão




Apresenta-se na tabela seguintes patologias correntes que afectam o betão armado, decorrentes de alteração dos materiais, erros de execução, agressividade do meio, alteração das condições de serviço previstas em projecto.

Patologia	Ilustração	Descrição
Chochos, Ninhos de brita ou Vespeiros		Trata-se de uma anomalia no betão caracterizada pela existência de zonas ocas, à superfície ou no seu interior. O betão apresenta uma superfície não homogénea, em que são visíveis os inertes de maior dimensão com vazios entre si, pouco aglutinados ou facilmente removíveis.


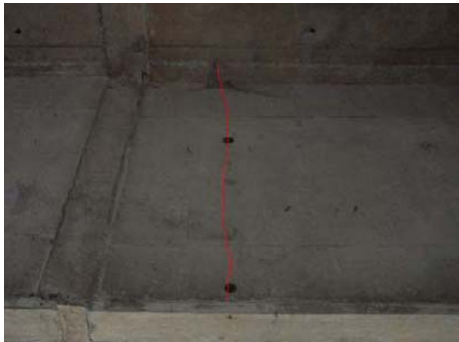

Infiltrações de água		Verifica-se a acumulação de carbonato de cálcio, (eflorescências), no ponto de saída da água que circula no interior do betão. Por falta de impermeabilização do tabuleiro, agravado pela fissuração do betão.
Manchas		Aparecimento de manchas que sugerem o alinhamento das armaduras, por falta de recobrimento das mesmas.
Manchas, escorrências		Verifica-se o aparecimento de manchas no betão, com acumulação de eflorescências, resultantes da deficiente drenagem e impermeabilização do tabuleiro.
Defeitos de betonagem		Verifica-se a existência de saliências resultantes de folgas entre elementos de cofragem, e uma porosidade geral excessiva que vai facilitar a carbonatação do betão.

<p>Defeitos de betonagem</p>		<p>Defeitos de execução, no posicionamento de cofragem, levando á existência de reentrâncias no betão, não havendo um recobrimento uniforme da superfície.</p>
<p>Defeitos de betonagem</p>		<p>Defeito de execução, pelo não recobrimento de uma bainha de pré-esforço, que entretanto já está afectada pela corrosão.</p>
<p>Defeitos de betonagem</p>		<p>Defeitos de execução pelo não enchimento das bainhas de pré-esforço aderente.</p>
<p>Juntas de betonagem</p>		<p>Verifica-se uma linha de separação entre betonagens, que além de terem sido feitas com betões diferentes, o que é visível pela sua coloração, foram sujeitas a um elevado tempo de espera entre camadas, provocando uma junta fria de betonagem, onde não existe a normal coesão do betão.</p>

<p>Inexistência de juntas entre elementos pré-fabricados</p>		<p>Aplica-se aos casos em que são visíveis escorrências de água através das juntas entre painéis pré-fabricados de betão, com ou sem passagem de finos.</p>
<p>Fissuração irregular de pequena espessura</p>		<p>Esta anomalia caracteriza-se pela existência de fendas de pequena amplitude e profundidade, com andamento difuso, muitas vezes ramificado, e comprimentos variados, que cobrem, geralmente, grandes extensões. Estas fendas dão-se por retracção do betão.</p>
<p>Exposição, com ou sem corrosão, das armaduras principais</p>		<p>Este dano caracteriza-se pela exposição da armadura principal. É aplicável nos casos em que a armadura é visível, podendo estar completamente exposta ou ainda só ter aflorado. Trata-se de uma patologia no aço, à qual estão associados danos no betão.</p>
<p>Exposição, com ou sem corrosão, de armaduras secundárias</p>		<p>É caracterizada pelo descobrimento das armaduras consideradas secundárias, notando-se a falta de betão de recobrimento. É aplicável sempre que a armadura é visível, não sendo necessário que esteja totalmente exposta. A armadura pode ou não apresentar corrosão, sendo que, neste último caso,</p>

		apresentará uma redução na sua secção.
Exposição, com ou sem corrosão, de armaduras construtivas		É detectada pela existência de varões construtivos (ex: esticadores de cofragem) incorporados no elemento de betão armado, mas que saem para o seu exterior de um determinado comprimento. Podem-se encontrar dobrados e apresentar corrosão. Considera-se que existe exposição de armaduras sempre que estas armaduras são visíveis, independentemente do seu comprimento.
Fissuração horizontal na face inferior de tabuleiros Vigados / nervurados		Caracteriza-se pela existência de fendas com orientação horizontal (geralmente inclinadas a 45º relativamente ao eixo longitudinal da obra), nas faces inferiores de tabuleiros. As fissuras podem ter início na ligação das vigas/nervuras com as consolas, prolongando-se depois pela face inferior do tabuleiro, oblíquas em relação ao eixo longitudinal da obra.
Fissuração horizontal em elementos verticais		Caracteriza-se pela existência de fendas com andamento maioritariamente horizontal, em elementos verticais. Embora possam variar, normalmente têm espessuras, comprimentos e profundidades com dimensões bastante significativas. Aparecem



		quase sempre isoladas, muitas vezes na zona das juntas de betonagem.
Fissuração vertical em pilares e encontros		Caracteriza-se pela existência de fendas ou fissuras com andamento vertical, nas faces de pilares ou encontros, geralmente com comprimentos extensos e espessuras variáveis.
Fissuração vertical em tabuleiros		Caracteriza-se pela existência de fendas ou fissuras com andamento vertical, nas faces laterais de vigas e nervuras, geralmente com comprimentos extensos (a toda a altura do elemento) e espessuras variáveis.
Fissuração oblíqua		Caracteriza-se pela existência de fendas com orientação diagonal em elementos verticais. Podem aparecer isoladas, com espessura e comprimentos significativos, ou com espaçamento aproximadamente constante e pequena espessura. A concentração de tensões devida ao pré-esforço, também pode ser uma causa coexistente para o aparecimento destas fissuras nas vigas principais e carlingas, na zona das ancoragens.



<p>Fissuração em correspondência com as armaduras</p>		<p>Caracteriza-se pela existência de fissuras com a mesma orientação e espaçamento das armaduras. Geralmente estas fendas estão localizadas sobre as armaduras, sendo visível a sua marcação ou exposição. A superfície do betão costuma apresentar nestas zonas uma cor de óxido de ferro.</p>
<p>Recobrimento Insuficiente</p>		<p>Verifica-se, sem qualquer intervenção a ocorrência de descasque de betão em zonas pontuais, ficando á vista a armadura cuja corrosão deu origem ao descasque.</p>
<p>Ataque do betão pelo fogo</p>		<p>Caracteriza-se pelo destacamento do betão de recobrimento das armaduras, deixando-as expostas. Geralmente a presença do fogo é facilmente identificável através das manchas escuras existentes na superfície do betão remanescente.</p>
<p>Degradação interna do betão (alcáli-sílica)</p>		<p>É aplicável nos casos em que o betão está sujeito à reacção alcáli-sílica (entre a alcalis da pasta de cimento e a sílica reactiva dos inertes). O betão encontra-se fissurado sendo visível, nos casos mais avançados, a formação de um gel, nestas fissuras.</p>

Tabela 3.1 – Patologias do betão armado

### 3.2.2 Patologias nos elementos acessórios

Neste ponto pretende-se apresentar as patologias que ocorrem nos elementos acessórios das obras-de-arte de betão armado. É importante lembrar que o facto de se designarem elementos acessórios, o seu mau funcionamento poderá inviabilizar a utilização da obra.

Mostra-se na tabela seguinte patologias que ocorrem em aparelhos de apoio, juntas de dilatação, guarda-corpos, guardas de segurança e passeios.

Patologia	Ilustração	Descrição
Corrosão de Aparelhos de Apoio		Trata-se da corrosão do aço em aparelhos de apoio, que se manifesta através de manchas acastanhadas formadas pelos produtos da corrosão. Quando os aparelhos de apoio estão situados em locais húmidos ou nos encontros sujeitos a escorrência de água proveniente de juntas de dilatação, o contacto da água com as peças metálicas irá desencadear o processo de corrosão.
Acumulação de sujidade em Aparelhos de Apoio		Trata-se da acumulação de sedimentos e/ou detritos arrastados ou sobrantes da construção, que se depositam em redor ou sobre os aparelho de apoio. A acumulação de sujidade em aparelhos de apoio favorece a criação de humidade sobre as peças metálicas, a qual por sua vez irá criar um ambiente favorável ao desencadear do processo de corrosão. Outro aspecto a salientar prende-se com a acumulação de detritos nas peças móveis dos aparelhos de apoio, o que irá



		<p>aumentar o coeficiente de atrito e, nos casos mais graves, pode inclusivamente provocar a obstrução da movimentação do aparelho.</p>
<p>Entupimento de sumidouros /gárgulas de drenagem</p>		<p>Trata-se da obstrução parcial ou total dos órgãos de drenagem dos tabuleiros de pontes e viadutos. Na maior parte das vezes, essa obstrução dá-se com a acumulação de sedimentos (partículas terrosas) que são arrastados pelas águas que se escoam pelas bermas das faixas de rodagem. Contudo, a obstrução também pode ser provocada pela acumulação de objectos ou pelo crescimento de vegetação.</p>
<p>Desaperto de fixações em Juntas de Dilatação</p>		<p>O desaperto das fixações das juntas de dilatação manifesta-se através do som do batimento destas aquando da passagem dos veículos sobre si. Se as fixações forem constituídas por perno + porca, o desaperto das porcas pode não ser visível à vista desarmada. Nestes casos, apenas através do som escutado ou da sobrelevação da junta aquando da passagem dos veículos é que se percebe que a junta de dilatação está desapertada ou mesmo solta.</p>

<p>Falta de estanquidade da junta de dilatação</p>		<p>A falta de estanquidade da junta, vai levar a constantes entradas de água no encontro sob a junta, expondo o betão e se for o caso os aparelhos de apoio á acção dessa água.</p>
<p>Degradação da camada de transição de Juntas de Dilatação</p>		<p>Trata-se da quebra ou fissuração da camada de transição, acompanhada, numa fase mais adiantada, de desprendimento. Esta situação surge, muitas vezes, acompanhada do desaperto das fixações, e da danificação dos bordos da junta de dilatação.</p>
<p>Instabilidade das guardas de segurança</p>		<p>Verifica-se a rotura de elementos de ligação da guarda de segurança aos prumos de suporte.</p>
<p>Corrosão do guarda-corpos</p>		<p>Verifica-se a corrosão dos elementos metálicos, e consequente degradação.</p>

Degradação dos passeios		Verifica-se a rotura da betonilha que perfaz o passeio, causando desconforto aos peões.
-------------------------	---	---

Tabela 3.2 – Patologias em elementos acessórios

Pela variedade de patologias possíveis de encontrar nas obras-de-arte de betão armado, considerou-se importante que a descrição de cada uma fosse acompanhada de uma ilustração, pretendendo deste modo facilitar a leitura da descrição de cada uma das patologias.

## Capítulo 4

### Causas das Patologias

O conceito de causa pode ser definido como o motivo, a origem ou a razão de algo. [7] No âmbito do trabalho aqui apresentado, as causas apontadas são sempre classificadas como causas possíveis, e não definitivas, sendo normalmente as causas mais prováveis. Para determinar caso a caso a origem de cada patologia, ter-se-ia que recorrer a meios e métodos de ensaios rigorosos e extensos.

Por esta definição de patologia, é fácil compreender que o aparecimento de uma anomalia pode ser motivado por um factor que teve origem noutro. Ou seja, para atribuir uma causa a uma patologia é preciso relacioná-las e compreendê-las num intervalo de tempo.[19]

Existem vários sistemas de classificação de causas de anomalias, normalmente baseados em correlações estabelecidas com a concepção, construção, utilização, agentes agressivos e acidentes. Estes sistemas são aplicados, a variadas matrizes, não necessariamente específicas para o estudo de obras-de-arte em betão.[19]

Wojciech Radomski, sugere ainda um sistema de classificação de dois grupos gerais que podem ser subdivididos noutros quatro. [3]

A classificação divide-se de forma muito genérica em dois grandes grupos:

- I) Factores Objectivos, ou seja que são independentes da acção humana no campo da engenharia de pontes;

- II) Factores Subjectivos, ou seja, os que dependem da acção directa do homem.

Ambos podem ser especificados ainda em 4 subgrupos:

- A) Factores internos;
- B) Cargas actuantes;
- C) Zona Climática e acção atmosférica;
- D) Manutenção

#### 4. Sistema de classificação das causas possíveis das patologias em pontes de betão

Este sistema de classificação, surge como fusão e evolução de sistemas de classificação mais genéricos. [5] Este sistema reúne um total de 117 causas possíveis, agrupadas com um critério cronológico em nove grupos.

O critério cronológico surge da seguinte forma:

- Primeiro os erros de projecto;
- Em seguida os erros de execução;
- E durante todo período de exploração as acções de acidente, ambientais e agentes agressivos.

Uma análise mais profunda de cada patologia em cada mm de extensão deveria ser acompanhada de uma distinção de causas, ou seja, causas próximas e causas primeiras. Em que as causas próximas são as que surgem imediatamente antes da patologia se manifestar, podendo não ser, por si só, a origem da patologia. As causas primeiras, poderão ocorrer num intervalo de tempo distante da manifestação da patologia, no entanto são as que estão na sua origem.

Assim é a existência de várias causas primeiras e várias causas próximas que levam á ocorrência de manifestações patológicas. [5]

Nos nove grupos apresentados em seguida, consegue-se enquadrar todas as causas apontadas como possíveis na análise estatística apresentada nos capítulos seguintes.

##### 4.1 Erros de projecto

- Deficiente traçado da ponte ou dos seus acessos
- Concepção hidráulica deficiente
- Errada escolha dos materiais
- Não consideração da temperatura em obras de arte longas ou de grande viés

- Não consideração dos efeitos diferidos do betão (retracção, fluência)
- Não consideração da encurvadura no cálculo de elementos verticais
- Concepção deficiente para acções sísmicas e outras acções horizontais (vento)
- Modelação deficiente das fundações
- Concepção anti-assoreamento deficiente
- Recobrimento deficiente das armaduras
- Distância inadequada entre varões/cabos.

#### 4.2 Erros de execução

- Má interpretação dos desenhos de execução
- Pessoal inexperiente
- Compactação/estabilização deficiente do solo
- Alteração das dosagens dos componentes
- Utilização de materiais inadequados (água contaminada, inertes reactivos)
- Betonagem deficiente
- Cofragem deficiente/ utilizada vezes excessivas
- Compactação/cura deficiente do betão
- Junta de betonagem mal executada
- Posicionamento /pormenorização pouco rigorosa das armaduras
- Pré-esforço inadequado
- Injecção deficiente das bainhas dos cabos de pré-esforço
- Carregamento precoce
- Deficiente pavimentação/repavimentação do tabuleiro
- Obstrução de drenos com asfalto
- Fabrico/ colocação deficiente das juntas de dilatação
- Colocação deficiente dos aparelhos de apoio
- Fiscalização inexistente/ insuficiente

#### 4.3 Acções de acidente de origem humana

- Incêndio
- Colisão/acidente de tráfego
- Explosão/bombardeamento
- Carga excessiva
- Queda de objectos forçados

- Vandalismo

#### 4.4 Acções de acidente naturais

- Sismo
- Incêndio
- Aguaceiros
- Cheias
- Movimentos de terras
- Avalanches de neve
- Tornado/ciclone
- Tsunami
- Erupção vulcânica
- Raios

#### 4.5 Acções ambientais

- Temperatura
- Humidade (ciclo seco-molhado)
- Chuva
- Neve
- Gelo (ciclos gelo-degelo)
- Vento
- Radiação solar directa

#### 4.6 Agentes Agressivos Naturais

- Acção biológica de algas e fungos
- Água salgada
- Dióxido de carbono
- Sulfato
- Reacções alcalis-silica
- Entre outros;

#### 4.7 Agentes Agressivos Artificiais

- Poluição
- Sais descongelantes

- Hidrocarbonetos
- Acção biológica dos esgotos
- Entre outros;

#### 4.8 Falta de Manutenção

- Acumulação de detritos
- Obstrução de drenagens
- Falta de aperto em elementos acessórios
- Entre outros,

#### 4.9 Alteração das condições de serviço inicialmente previstas

- Alterações nos leitos dos rios
- Aumento drástico do fluxo de tráfego
- Aumento das cargas permanentes por repavimentações
- Assentamento de fundações
- Alteração da regulamentação
- Entre outros;





## Capítulo 5

### Enquadramento da Análise Estatística

A essência do presente capítulo reside na análise de 146 relatórios de inspecção principais, feitos a 146 obras de arte, distribuídas pelo país.

Os critérios aplicados para filtrar as 146 obras foram os seguintes.

- Obras de betão armado e/ou pré-esforçado;
- Obras sujeitas a relatórios de inspecção principal;
- Obras com comprimentos totais iguais ou superiores a 3m.

Tendo optado por obras sujeitas a inspecções principais, compreende-se que o universo de amostragem não representa a realidade das obras a nível nacional, mas sim uma aproximação á realidade das obras onde já foram identificados algumas anomalias. É importante a compreensão deste conceito para perceber que quando se indica que " x% das obras analisadas apresentam fissuração no tabuleiro", não representa uma percentagem que se possa transpor para a realidade das obras-de-arte a nível nacional.

É importante referir que o registo das patologias efectuado não permite avaliar com rigor o estado de conservação de cada obra, já que é uma referência qualitativa e não quantitativa. Ou seja, quando se regista que ocorre fissuração no tabuleiro da obra x, não está descrito se essa fissuração é estrutural, se ocorre em 5% da área exposta ou em 90%. O mesmo se aplica às restantes patologias registadas.

Acompanhando a análise aos respectivos relatórios de inspecção principal, foi feita também a análise dos relatórios de inventário, ou seja, onde são consultados dados técnicos, administrativos e de constituição.

## 5.2 Fontes de Informação

Pretende-se explicar qual a informação recolhida dos relatórios de inspecção principal e de inventário que tornaram possível o desenvolvimento do estudo apresentado no capítulo seguinte.

Dos relatórios de inventário foram consultados os seguintes dados:

*Dados administrativos:*

- Número da obra;
- Tipologia;
- Localização, distrito;
- Ano de construção (quando presente no relatório);

*Dados Técnicos:*

- Vão máximo, comprimento total;
- Classes de exposição ambiental, segundo a ENV 206 e segundo a E378;

Dados de constituição foram consultados sempre que necessário confirmar a constituição de determinado elemento, quando as fotografias não eram explícitas.

*Dos relatórios de inspecção principal, definitivos ou provisórios, foram consultados os seguintes dados:*

- Patologias em: muros, taludes, encontros, aparelhos de apoio, tabuleiro, cornijas, guarda-corpos, passeios, revestimento da via, juntas de dilatação e outros componentes, como guardas de segurança, postes de iluminação, sinalização etc.
- Grau de conservação e manutenção em cada um dos elementos;
- Descrição das patologias, acompanhadas de registo fotográfico e prováveis causas;
- Estimativa dos trabalhos de reparação.

É de notar que alguns dos relatórios consultados foram primeiras versões de um documento final. Significa, não que a informação presente estivesse errada, mas que pode ainda faltar algum dado, como a classificação da exposição ambiental, o ano de construção ou outro.

### 5.3 Caracterização dos casos de estudo

Estão englobados vários tipos de obras, tendo em comum o facto de serem em betão armado e ou pré-esforçado.

Ao todo estão representados 10.446,81 m de obra, com um vão máximo médio de 20,76m.

Apesar de existirem 146 amostras, os universos de amostragem variam conforme o campo sobre o qual incide a análise.

Quando uma das variáveis em estudo é o ano de construção, o universo de amostragem reduz-se para 56.

#### *Número de registos por tipologia*

Este universo particular de 146 obras é composto de 67 pontes, 11 viadutos, 4 passagens agrícolas, 1 passagem pedonal, 27 passagens superiores, 21 passagens inferiores e 15 passagens hidráulicas.

#### *Distribuição geográfica*

A distribuição geográfica é variada, não estando no entanto representados todos os distritos do País. Na tabela abaixo, descreve-se o número de casos de amostragem por distrito.

Distrito	Nº de Obras
Viana do Castelo	3
Porto	13
Vila Real	13
Aveiro	16
Viseu	3
Coimbra	16
Castelo Branco	7
Leiria	10
Santarém	16
Setúbal	10
Portalegre	7
Beja	19
Faro	13

Tabela nº5.1 – Distribuição geográfica dos casos de estudo

#### 5.4 Componentes analisados

Numa primeira análise, onde apenas se registou a ocorrência ou não de patologias, os elementos analisados foram:

- Tabuleiro;
- Pilares;
- Encontros;
- Aparelhos de apoio;
- Juntas de dilatação,
- Muros;
- Taludes;
- Sistema de drenagem;
- Revestimento da Via;

#### 5.5 Patologias registadas

Feita uma análise que apenas permite de forma qualitativa identificar a ocorrência ou não, de patologias em cada elemento, foram em seguida destrinchados os vários elementos, fazendo a análise, com base na informação presente nos relatórios de inspeção principal, das diferentes patologias registadas e das suas causas.

##### *Patologias registadas no tabuleiro*

Aqui registam-se as patologias encontradas e registadas na face inferior do tabuleiro, isto, porque a face superior está normalmente revestida, sendo assim alvo de registo em campo separado.

As patologias registadas foram:

- Fissuração;
- Descasque de betão;
- Exposição de armaduras;
- Aparecimento de manchas e eflorescências;
- Defeitos na betonagem.

##### *Patologias registadas nos apoios intermédios – pilares*

Estes elementos podem apresentar diversas formas, estarem sujeitos a diferentes ambientes e assentes sobre variados leitos. Essencialmente são elementos sujeitos a compressões.

As patologias registadas foram:

- Armaduras Expostas;
- Crescimento de vegetação;
- Descalçamento de fundações;
- Pinturas indesejadas;
- Defeitos de betonagem;
- Fissuração.

### *Patologias registadas nos encontros*

Estes elementos, também de betão armado, possibilitam a interface do tabuleiro com as “margens”, são o início e o fim da obra, normalmente implicam grandes volumes de betão.

As patologias registadas foram:

- Crescimento de vegetação;
- Manchas e escorrências;
- Fissuração do betão;
- Deformações;
- Exposição de armaduras;
- Descalçamento de fundações;
- Pinturas indesejadas;
- Defeitos de betonagem;

### *Patologias registadas nos aparelhos de apoio*

Os aparelhos de apoio, apesar de serem elementos acessórios, podem implicar patologias estruturais, ou seja, num obra com 40 pilares, que sofre movimentações diárias sob acção da temperatura, se um aparelho por algum motivo “encrava”, ou seja deixa de permitir a quase livre movimentação da super-estrutura, pode em casos limites impedir a obra de desempenhar a tarefa para a qual foi concebida.

As patologias registadas foram:

- Corrosão ou envelhecimento;
- Deformação excessiva;
- Acumulação de detritos.

### *Patologias registadas nas juntas de dilatação*

As juntas de dilatação fazem, a interface tabuleiro/encontro, além desta podem cumulativamente desempenhar outras funções, podem ser fixas ou móveis, entre outras variantes. São também um elemento acessório, no entanto dependendo da sua dimensão, podem também vir a representar um perigo estrutural para a obra, não que induza ao seu colapso, no entanto impede-a de desempenhar a função para que foi concebida, já que se ficarmos com uma abertura de 40cm, o trânsito fica impedido.

As patologias registadas foram:

- Destruição da camada de transição;
- Ausência de junta;
- Rotura de elementos de fixação;
- Acumulação de detritos;
- Falta de estanquidade;
- Destruição parcial.

### *Patologias registadas nos taludes*

Os taludes podem assumir os mais variados aspectos, em terra natural, plantada com espécies que lhe garantam futuramente uma protecção. Podem ser em terra armada, gaviões, podem ser reforçados com "*jet grout*", ancoragens ao terreno, podem ser revestidos, executados em terra armada, etc.

As patologias registadas foram:

- Acumulação de vegetação e/ou detritos;
- Erosão e desmoronamento;
- Rotura parcial.

### *Patologias registadas nos muros*

Os muros são elementos que se podem desenvolver por toda obra, ou apenas na zona dos encontros, são normalmente elementos secundários, que podem não implicar directamente na capacidade resistente da obra.

As patologias registadas forma:

- Fissuração do betão;
- Deformação;
- Acumulação de vegetação;
- Defeitos de Betonagem;
- Manchas e escorrências.

No capítulo seguinte serão apresentados os resultados da análise estatística desenvolvida com base nos dados analisados.

## Capítulo 6

### Análise Estatística

Aqui serão analisados os dados descritos no capítulo anterior, de forma a permitir a análise da distribuição de patologias nos componentes das obras de arte, as patologias em cada componente, as suas causas possíveis mais prováveis, assim como estabelecer algumas relações entre as patologias e a localização das obras, a sua classe de exposição ambiental, um índice de qualidade de construção e o ano de construção.

#### 6.1 Distribuição da ocorrência de patologias nos componentes das obras-de-arte.

Como descrito no capítulo anterior, a análise dos relatórios de inspecção principal, permite localizar a ocorrência de alguma manifestação patológica, nos vários componentes das obras-de-arte. É de fácil compreensão que apresentem percentagens diferentes de ocorrência de patologias, assim como diferentes patologias. Esta variedade é compreensível pelo facto de serem elementos diferentes, sujeitos a diferentes esforços e expostos às acções de forma diferente, quer atmosféricas quer humanas.

Assim no gráfico seguinte indica-se, nos casos analisados, as diferentes percentagens da ocorrência de uma patologia nos diferentes componentes.



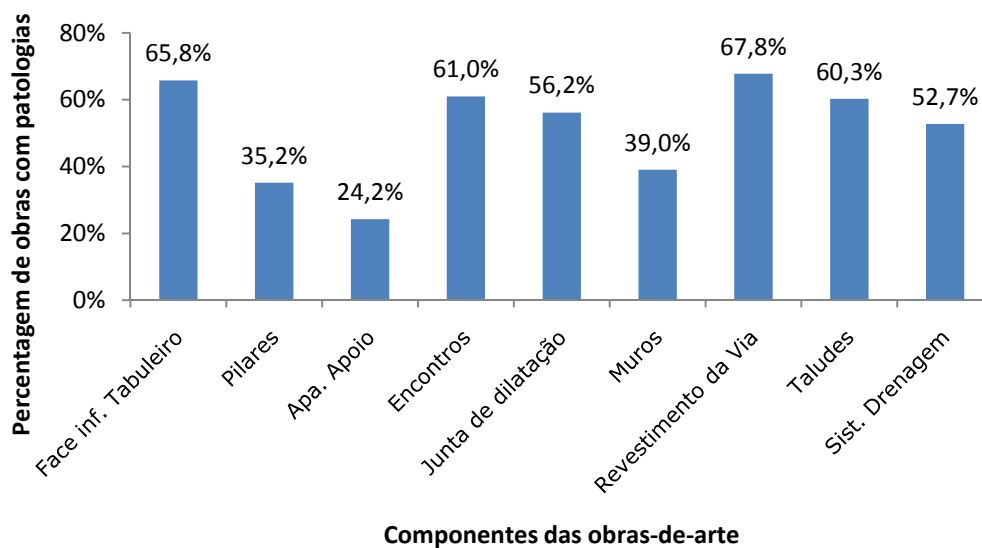


Figura 6.1 – Ocorrência de patologias nos componentes das Obras-de-Arte

Os primeiros cinco elementos apresentados, representam aqueles onde as patologias, poderão assumir um carácter estrutural, ou seja, atingindo determinado grau de gravidade, as patologias que afectam estes elementos podem por em causa a capacidade da obra de desempenhar a função para que foi concebida, não implicando com isso que esteja em risco de colapso, mas apenas que não tem condições para permanecer em serviço.

No entanto nas 146 obras analisadas, nenhuma apresentava patologias que implicassem no imediato retirá-las de serviço, ou tão pouco que implicassem algum risco de colapso.

De todos componentes analisados o revestimento da via é o que maior percentagem apresenta, sendo normalmente fruto de falta de manutenção.

Dos elementos que podem apresentar patologias estruturais, os mais afectados correspondem, nesta análise, aos que maior volume de betão representam, o tabuleiro, cujas 65,8% das obras analisadas apresentam qualquer tipo de patologia, e os encontros em segundo lugar com 61%.

## 6.2 Análise Individual dos Componentes

Segue-se um estudo por componente, em que foram registadas as patologias visíveis e as suas causas mais prováveis. Sendo certo que todas estas aferições têm por base inspecções visuais.

### 6.2.1 Patologias na face Inferior do Tabuleiro

A descrição acima, "Face Inferior do tabuleiro", visa excluir desta análise as patologias que afectam a parte superior do tabuleiro, ou seja, a via, passeios, bermas e guardas.

A face inferior do tabuleiro representa a sua secção mais exposta e normalmente mais extensa, no que diz respeito a superfície de betão.

No gráfico abaixo verificam-se as patologias encontradas nos casos de amostragem estudados, e a sua percentagem de ocorrência no universo de 146 obras analisadas.

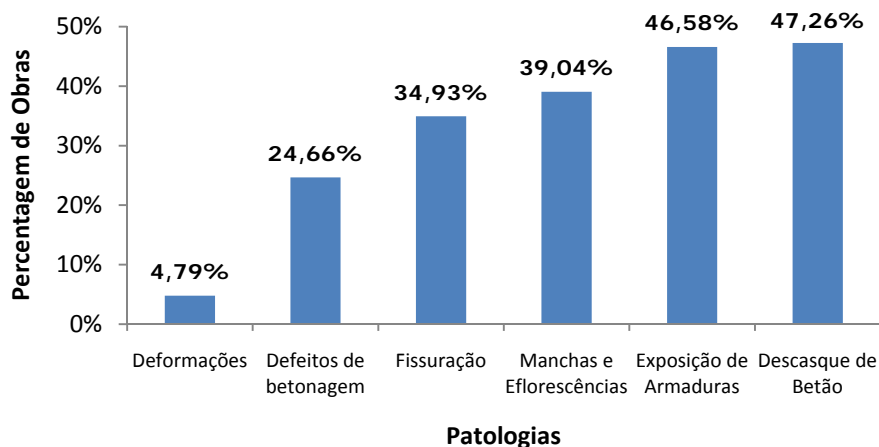


Figura 6.2 – Patologias que afectam a face inferior do tabuleiro

Com maior percentagem de ocorrência, num universo de 146 obras-de-arte, surgem o descasque do betão e a exposição de armaduras, duas patologias que estarão em alguns casos relacionadas, isto é, a exposição de armaduras não implica necessariamente o descasque de betão, assim como o descasque não provoca obrigatoriamente a exposição de armaduras. No entanto é frequente em casos de corrosão de armaduras, que leva ao descasque do betão e consequente exposição de armaduras.

#### 6.2.1.1 Causas do descasque de betão no tabuleiro

A cada patologia registada foi associada uma causa possível, ou seja, uma causa que por uma inspecção visual se determina ser a causa que tem maior probabilidade de ter motivado aquela patologia.

Nos gráficos abaixo, mostram-se as causas de cada patologia registada no tabuleiro.

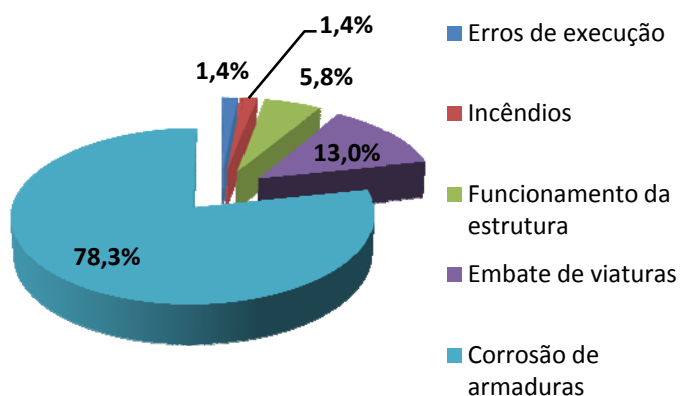


Figura 6.3 – Causas do descasque de betão no tabuleiro.

Apesar de surgirem 5 causas diferentes, existe uma esmagadora maioria, dos casos de amostragem, em que a causa mais provável do descasque de betão foi a ocorrência de reacções expansivas decorrentes da corrosão de armaduras. Esta é a causa próxima, no entanto existem causas primeiras que terão provocado a corrosão de armaduras, vindo posteriormente a provocar o descasque do betão.

A segunda causa com maior percentagem de ocorrência é o embate de viaturas. As faces inferiores dos tabuleiros e os pilares são sem dúvida as superfícies mais expostas e este tipo de acção.

#### 6.2.1.2 Causas da exposição de armaduras no tabuleiro

Mostra-se no gráfico 6.4 as percentagens obtidas na análise das causas possíveis da ocorrência de exposição de armaduras na face inferior do tabuleiro.

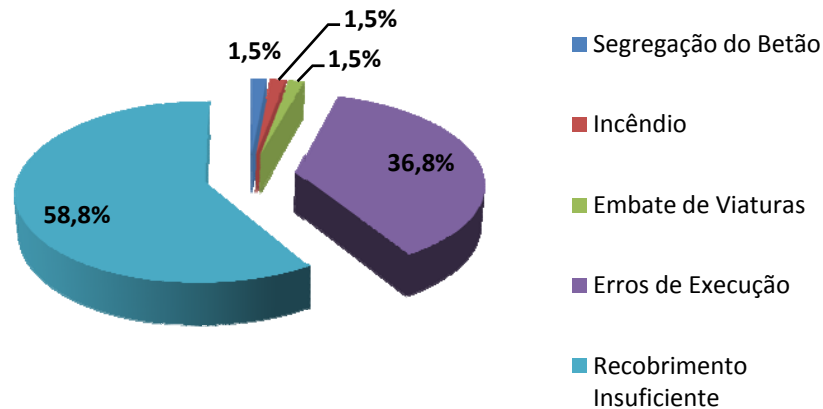


Figura 6.4 – Causas da exposição de armaduras no tabuleiro.

Surge com destaque, como causa mais provável da exposição de armaduras no tabuleiro, a aplicação de recobrimentos reduzidos, que são insuficientes para garantir a protecção das armaduras. Esta situação não terá sempre implícita a má execução, até porque no intervalo de idades, das obras analisadas, já existiram pelo menos 3 regulamentos diferentes para a designação de recobrimento mínimo, desde a E378, REBAP, ENV206, E465.

Em 36,8% das obras com exposição de armaduras na face inferior do tabuleiro, registaram-se os erros de execução como causa mais provável, ou seja, casos explícitos em que as armaduras foram deixadas com recobrimentos quase nulos, assim como situações em que deixaram armaduras á vista desde a concepção da obra.

#### 6.2.1.3 Causas do aparecimento de manchas e eflorescências no tabuleiro

Esta patologia inclui manchas e eflorescências, ou seja, essencialmente a alteração de cor e a acumulação de sais. No gráfico abaixo mostram-se as causas possíveis registadas no universo de amostragem analisado.

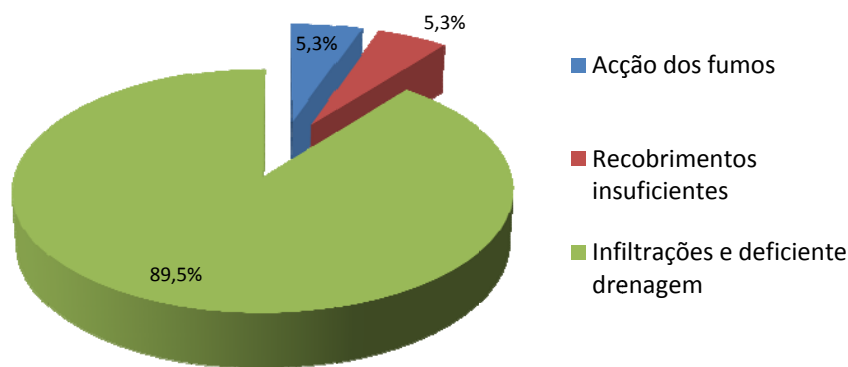


Figura 6.5 – Causas do aparecimento de manchas e eflorescências no tabuleiro.

Verifica-se que na grande maioria dos casos registados com manchas e/ou eflorescências no tabuleiro se devem a infiltrações e sistemas de drenagem insuficientes. As infiltrações acontecem essencialmente por falta de sistemas de impermeabilização dos tabuleiros, ou seja, durante muitos anos não foram contemplados, ficando o betão com as respectivas armaduras ordinárias e de pré-esforço sujeitas á acção da água das chuvas. Quanto aos sistemas de drenagem, são deficientes ou insuficientes, pelo facto de ficarem muitas vezes obstruídos, tomando a veia líquida outros percursos de escoamento, que com o passar do tempo provoca o aparecimento de manchas no betão. Verifica-se em alguns casos a total inexistência de qualquer tipo de valeta ou colector de encaminhamento de águas pluviais

Em apenas 5% dos casos analisados com manchas no tabuleiro a causa possível mais provável registada foi a falta de recobrimento, ou seja, quando surgem manchas com a coloração típica da “flor da ferrugem”, que sugerem a presença de armaduras, evidenciando até o seu traçado e espaçamento, isso indica que o recobrimento deverá ser reduzido o suficiente para que os produtos resultantes da oxidação das armaduras migrem para a superfície do betão.

#### 6.2.1.4 Causas do aparecimento fissuração no tabuleiro

A fissuração aqui descrita inclui fissuração estrutural, não estrutural, fissuração do recobrimento, fissuração com aberturas expressivas, ou apenas fissuração por retracção e qualquer tipo de fissuração que seja visível a olho nú. Não é por isso explicito que todas as obras em que foram registadas como sofrendo de fissuração no tabuleiro, tenham efectivamente uma deformação estrutural que leve á fissuração.

Na gráfico seguinte poderemos analisar quais as causas possíveis mais prováveis que foram registadas.

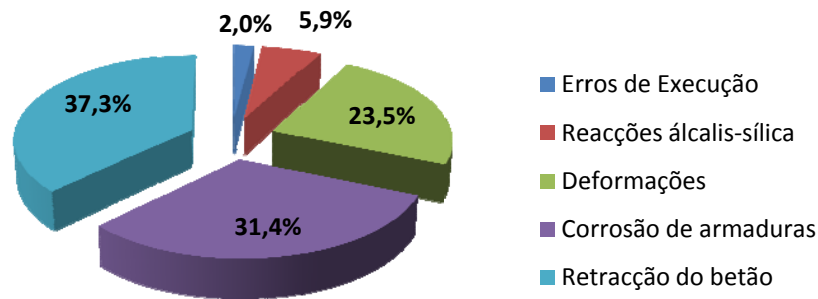


Figura 6.6 – Causas da fissuração de betão no tabuleiro.

Podemos confirmar a afirmação anterior, ao verificar que não existe uma causa que se distinga esmagadoramente das restantes. Existem essencialmente três causas com percentagens de ocorrência superiores, que são Retracção do betão, com 37,3%, Corrosão de armaduras com 31,4% e deformações já com uma percentagem menor de 23,5%.

A retracção do betão, que pode ocorrer por vários motivos, desde a aplicação de uma dosagem incorrecta de água/cimento, a uma cura incorrecta, ou a acção de condições atmosféricas aquando da cura do betão. Normalmente caracteriza-se por uma fissuração em malha, com aberturas pouco expressivas a desenhando padrões aleatórios. É facilmente distinguida de uma fissuração estrutural, podendo no entanto ser confundida com uma fissuração por acção de reacções expansivas internas no betão.

A corrosão de armaduras, provoca uma fissuração no betão, pelo facto de ser uma reacção expansiva que induz acções de tracção no betão levando á sua fissuração e consequente deslaminação. Normalmente esta fissuração acompanha as armaduras que estão em processo de oxidação. Por exemplo é frequente ver-se nas vigas, uma fissuração vertical com o espaçamento dos estribos, acompanhando-os, isto porque normalmente são as armaduras com menor recobrimento.

A fissuração por deformação, não está obrigatoriamente associada a um sub-dimensionamento, poderá ter origem numa má execução. Se por exemplo uma laje ou viga for descofrada e sujeita a acções antes de o betão ter resistência suficiente,

poderá vir a fissurar. No entanto em alguns casos esta fissuração poderá surgir mesmo por acção dos esforços actuantes, porque em algumas obras mais antigas, aquando da execução do projecto era difícil prever que estariam sujeitas aos esforços actuais. Nesses casos destacam-se a fissuração por flexão e por corte.

Com menor expressão, surge em cerca de 5,9% dos casos analisados, uma fissuração causada por reacções expansivas no betão, resultantes da reactividade da sílica dos inertes, da água do betão e do meio alcalino em que estão. Nestas fissuras é normalmente visível a acumulação de um gel resultante destas reacções.

### 6.2.1.5 Causas defeitos de betonagem no tabuleiro

Apesar da designação atribuída de defeitos de betonagem, esta patologia inclui situações como, nichos de brita, juntas frias de betonagem, diferenças na coloração do betão, variando os tons de cinzento, porosidade superficial excessiva, vazios e desintegração. Estas patologias podem surgir efectivamente por defeitos aquando das operações de betonagem, uma má vibração, alturas de queda elevadas, adição de água, elevados tempos de espera, etc. No entanto também podem ser fruto de má concepção do betão, uso de cofragens em mau estado ou ainda factores decorrentes de uma má descofragem, quer pelo meio usado, quer pelo prazo a respeitar. Podem ainda advir de uma fase anterior á obra, ou seja, erros de projecto. Isto porque em projecto devem ser tidas em conta as condicionantes do local a aplicar o betão, assim como a geometria das peças a betonar e ainda os meios construtivos usados. Ou seja, quando for projectada uma obra a realizar num clima muito seco de temperaturas elevadas deverá ser caracterizado um betão em projecto preparado para este ambiente, assim como se for um betão a aplicar em temperaturas negativas e ambientes sujeitos a ciclos de gelo-degelo, também deverá ser suficientemente caracterizado para que seja possível aplicá-lo nessas condições.

Além da caracterização do betão em projecto, deverá ser também limitado o seu processo de aplicação, impondo tempos máximos de espera, temperaturas de cura, condições de humidade mínimas e máximas etc.

### 6.2.1.6 Causas das deformações no tabuleiro

As deformações registadas são essencialmente motivadas pela alteração das condições de serviço inicialmente previstas. O que se pode traduzir por, aumento drástico do fluxo de tráfego, aumento da carga máxima permitida, aumento das cargas permanentes por constantes repavimentações, excessiva velocidade de circulação, assentamento de fundações, alterações morfológicas nos cursos de água e outras. [5]

### 6.2.2 Patologias nos Apoios Intermédios – Pilares

Os apoios intermédios, ou pilares, são elementos de betão armado, (nos casos analisados), essencialmente sujeitos a compressões, no que concerne a esforços. São normalmente elementos esbeltos e muito expostos. Todos estes factores influenciam certamente as patologias que surgem no gráfico seguinte.

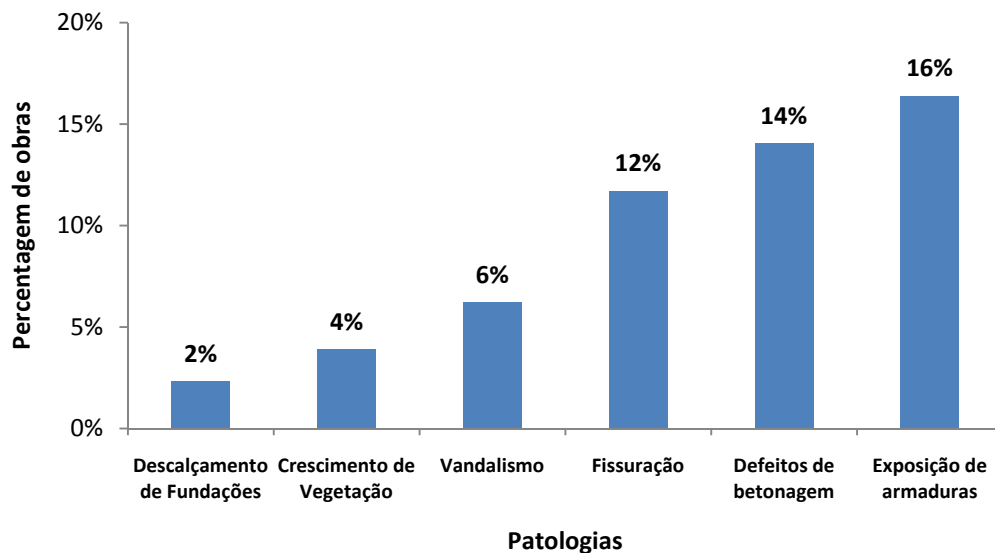


Figura 6.7 – Patologias que afectam os pilares.

Verifica-se que á semelhança do que ocorre no tabuleiro, a exposição de armaduras supera os defeitos de betonagem e a fissuração, embora estes últimos troquem de lugar.

#### 6.2.2.1 Causas da exposição de armaduras nos apoios intermédios

Apesar de ser um elemento de betão armado, como o tabuleiro, é diferente noutros aspectos que condicionam o aparecimento de patologias, em número e espécie. As condicionantes que variam são essencialmente de execução, a exposição á acção de agentes atmosféricos, a acção de agentes de desgaste, a acção das cargas de serviço.

No gráfico seguinte são visíveis as causas possíveis mais prováveis que motivaram o aparecimento de armaduras expostas nos pilares dos casos de estudo.



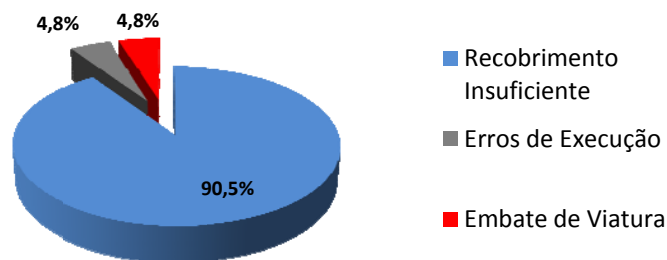


Figura 6.8 – Causas da exposição de armaduras nos apoios intermédios.

Verifica-se que á semelhança do verificado no tabuleiro, a causa que foi mais vezes registada foi a aplicação de recobrimento insuficiente. Embora nos pilares surja com uma diferença para as restantes causas muito maior do que se verificou no tabuleiro.

A aplicação de um recobrimento reduzido nos pilares, ocorre com mais frequência, provavelmente devido às diferentes formas geométricas que possuem, assim como a sua esbelteza. Sendo uma estrutura que normalmente se desenvolve na vertical, terá mais tendência a movimentação das armaduras aquando da colocação do betão. Já numa laje ou viga de um tabuleiro, a forma geométrica facilita o espalhamento do betão sem que este interfira com o posicionamento das armaduras.

#### 6.2.2.2 Causas dos defeitos de betonagem nos apoios intermédios

Já foram descritos, aquando do estudo do tabuleiro, os motivos que poderão dar origem aos defeitos de betonagem, assim como quais as patologias que estão subjacentes a esta designação do autor. No caso dos pilares, as condicionantes indicadas no ponto anterior, assim como podem levar a mais situações de recobrimento insuficiente, levarão certamente também a mais casos de defeitos de betonagem.

#### 6.2.2.3 Causas da fissuração nos apoios intermédios

Á semelhança do referido para o tabuleiro, a fissuração nos pilares é genérica, ou seja, estão englobados todos os casos de fissuração visível, sem distinção da sua gravidade ou extensão.

No gráfico abaixo são visíveis as causas possíveis mais prováveis registadas.

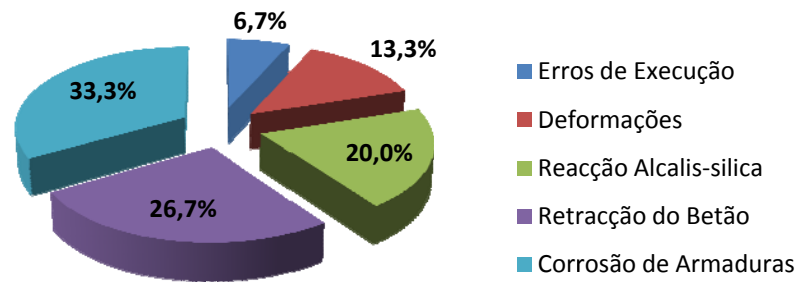


Figura 6.9 – Causas da fissuração de betão nos apoios intermédios.

A corrosão de armaduras e a retracção do betão “trocam de lugares”, relativamente ao verificado na análise das causas de fissuração no tabuleiro. Aqui, a corrosão de armaduras assume o primeiro lugar, com 33,3% dos casos de fissuração registados nos pilares. Segue-se a retracção do betão com 26,7% e ainda em terceiro lugar as reacções expansivas internas do betão RAS, álcalis-silica. Estas diferenças poderão ser vistas em função das já referidas condicionantes que tornam diferentes os pilares e o tabuleiro. Aqui existe uma menor área exposta de betão, e uma maior dificuldade em garantir recobrimento, assim é compreensível que essas duas causas tenham trocado de lugar. Já as reacções álcalis-silica, poderão ter mais representatividade nos pilares, dado serem estruturas que vulgarmente estão em zonas de marés, sujeitas ao contacto com águas salgadas. Além disso são estruturas às quais normalmente não se aplica qualquer tipo de impermeabilização, apenas revestimentos de capa fina, cuja durabilidade é reduzida.

Aqui as deformações assumem apenas 13,3% dos casos analisados. Nos casos analisados as deformações são substancialmente diferentes das registadas nos tabuleiros, prendem-se essencialmente com os fustes, nas interfaces com as carlingas do tabuleiro, onde se dão vulgarmente esmagamentos. Isto verifica-se nos casos de obras cujos aparelhos de apoio são placas de chumbo com ferrolhos em aço, ou apoios directos, ou seja, numa obra com aparelhos de apoio do tipo “deslizantes”, ou de neoprene será difícil ocorrer.

#### 6.2.2.4 Causas do crescimento de vegetação nos apoios intermédios

Além de ter pouca expressão a percentagem obtida, esta não carece de uma análise independente, porque 100% dos casos analisados resultam de falta de manutenção. Além da acção orgânica que a vegetação pode ter sobre o betão, a vegetação tem

outra grande desvantagem, o encobrir de outras patologias que poderão surgir, dificultando assim qualquer inspecção de rotina ou principal, podendo induzir os técnicos em erro.

### 6.2.2.5 Causas do descalçamento de fundações nos apoios intermédios

Nas 146 obras analisadas, apenas 3 padeciam de descalçamento de fundações, e em nenhum destes 3 casos, a situação requeria uma intervenção imediata. A causa apontada nos 3 casos foi a erosão do leito da veia líquida que a obra atravessava. Esta erosão pode ocorrer por vários motivos, desde alteração das condições de escoamento, descarregamento de barragens, aumento do nível médio às águas, etc.

### 6.2.3 Patologias nos Aparelhos de apoio

O aparelhos de apoio, surgem como o mecanismo que permite a interface, pilares e/ou encontros e tabuleiro. Nas obras mais recentes, tanto nos encontros como nos pilares estão normalmente munidos de aparelhos de apoio de vários tipos, conforme apresentado no capítulo 2. Já nas obras mais antigas, ou com comprimentos significativamente menores optava-se muitas vezes por um contacto directo entre pilares e tabuleiro, ou encontros e tabuleiro, já que as acções envolvidas eram menores, e os valores de extensão e retracção envolvidos não requeriam nenhum aparelho específico. Existem ainda algumas obras, que foram construídas á cerca de 30 a 20 anos, cujos aparelhos de apoio já existiam mas eram menos duráveis, feitos á base de placas de chumbo e ferrolhos de aço. Cumpriram com a função para que foram destinados, no entanto a sua durabilidade é reduzida. Dai a necessidade de substituição dos aparelhos por equipamentos mais actuais e de fácil substituição.

No gráfico abaixo verificam-se quais as patologias registadas nos aparelhos de apoio.

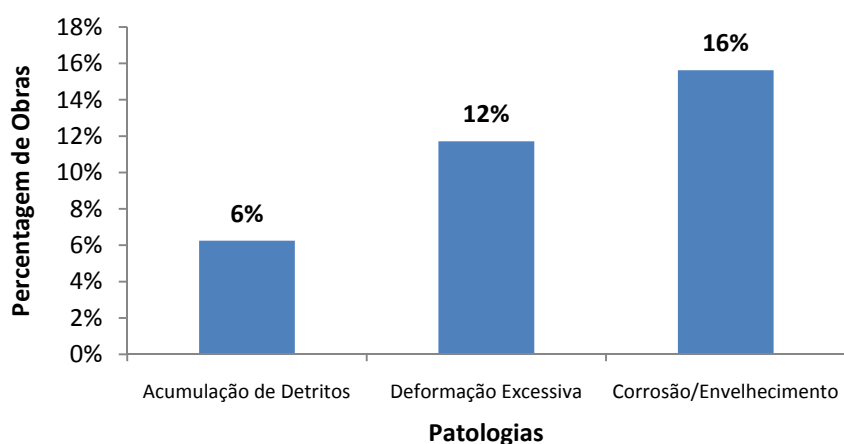


Figura 6.10 – Patologias nos aparelhos de apoio

Pela análise dos dados recolhidos verifica-se que a patologia que ocorre com maior percentagem nos casos de estudo, apesar de surgir apenas em 16%, é a corrosão/envelhecimento. Esta designação foi usada no sentido de incluir numa patologia apenas, os aparelhos de apoio constituídos por blocos de neoprene, que sofrem envelhecimento, e os aparelhos de apoio que além do material resiliente têm também componentes metálicos, e ainda os aparelhos de apoio que são puramente metálicos.

Como segunda patologia registou-se a deformação excessiva, decorrente de falta de manutenção, já que os aparelhos de apoio têm um prazo de vida útil, a partir do qual a sua capacidade resistente poderá diminuir.

E a terceira patologia registada foi a acumulação de detritos, que dependendo do aparelho, poderá por em causa o seu perfeito funcionamento.

#### 6.2.3.1 Causas da corrosão/envelhecimento dos aparelhos de apoio

O registo das causas possíveis mais prováveis das patologias nos aparelhos de apoio, varia muito de acordo com o tipo de aparelho, no entanto feita a associação acima mencionada, e sendo o número de casos de amostragem relativamente reduzido, obteve-se o seguinte gráfico de causas para a patologia corrosão/envelhecimento dos aparelhos de apoio.

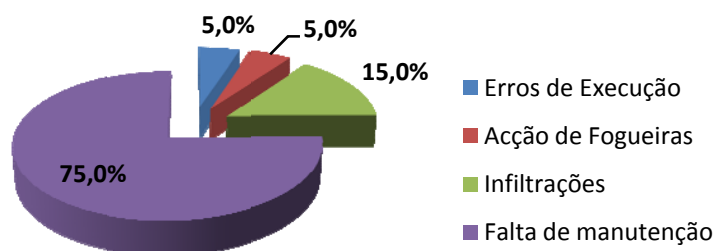


Figura 6.11 – Causas da corrosão/envelhecimento dos aparelhos de apoio

No universo de obras em análise, a causa possível mais provável registada com maior percentagem, 75%, foi a falta de manutenção. Isto porque o tempo de vida útil de um aparelho de apoio, dependendo do tipo, é normalmente inferior ao da obra de arte, ou seja, está sujeito a operações de manutenção e conservação.

No entanto as dificuldades surgem já na fase de projecto, isto porque devem ser consideradas alternativas construtivas que facilitem as necessárias operações de manutenção dos aparelhos, que normalmente estão dispostos em locais de difícil acesso.

Como segunda causa possível mais provável, regista-se a ocorrência de infiltrações. Qualquer infiltração, ou mau encaminhamento de águas, que provoquem a constante sujeição dos aparelhos de apoio á acção das chuvas, vais acelerar o seu processo de envelhecimento, quando normalmente é de esperar que estes dispositivos estejam em locais razoavelmente protegido da acção da chuva.

### 6.2.4 Patologias nos Encontros

As patologias que afectam os encontros são semelhantes às que incidem sobre as restantes estruturas de betão, o tabuleiro e os pilares, muito embora possam variar, pelo mesmo motivo que as duas anteriores também variam entre elas. Ou seja, as condicionantes de cada componente, as acções a que está sujeito, a exposição ambiental, e as secções que normalmente assume são factores condicionantes.

As patologias que afectam os encontros, mostram-se no gráfico abaixo.

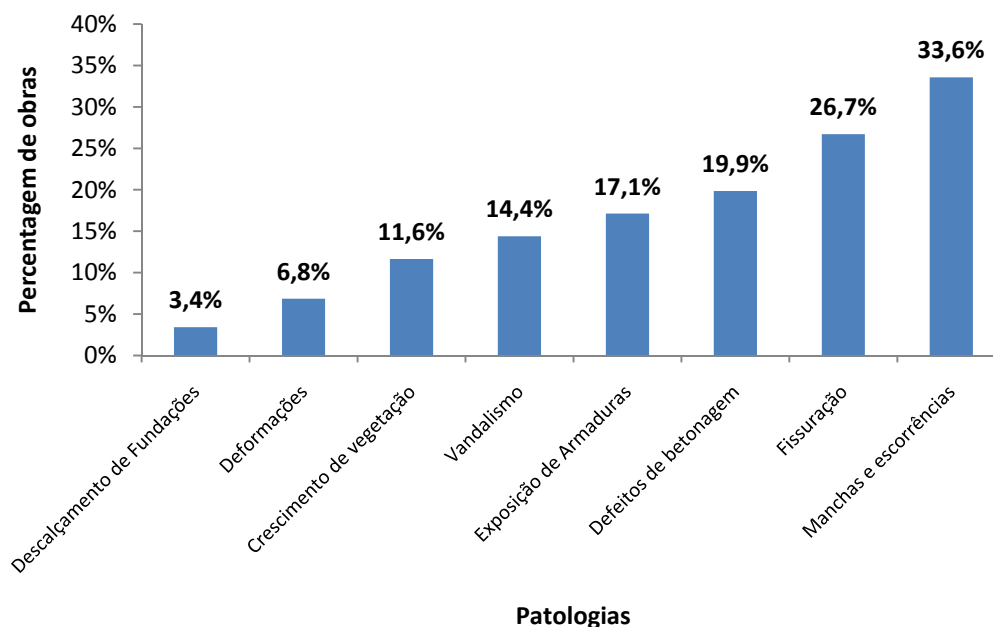


Figura 6.12 – Patologias nos encontros

No encontros, como se verifica pelo gráfico anterior, as que até agora tem sido as 3 patologias, em elementos de betão, com maiores percentagens de ocorrência, tornam a mudar de ordem, surgindo uma patologia com o maior nº de casos registados, as

manchas e escorrências. Esta patologia surge com mais significado nos encontros, e nos casos analisados, essencialmente por falta de estanquidade da junta de dilatação sobre o encontro, sujeitando o betão do encontro á acção quase directa das chuvas.

Como segunda patologia surge a fissuração, depois os defeitos de betonagem e em seguida a exposição de armaduras.

Como patologias já com números reduzidos de ocorrência tem-se o vandalismo, o crescimento de vegetação, as deformações e finalmente o descalçamento de fundações do encontro.

#### 6.2.4.1 Causas do aparecimento de manchas e escorrências nos encontros

À semelhança do tabuleiro, a acção da água proveniente essencialmente da chuva, quando mal encaminhada pode provocar manchas, escorrências e eflorescências.

Mostra-se no gráfico abaixo as causas possíveis mais prováveis registadas para esta patologia.

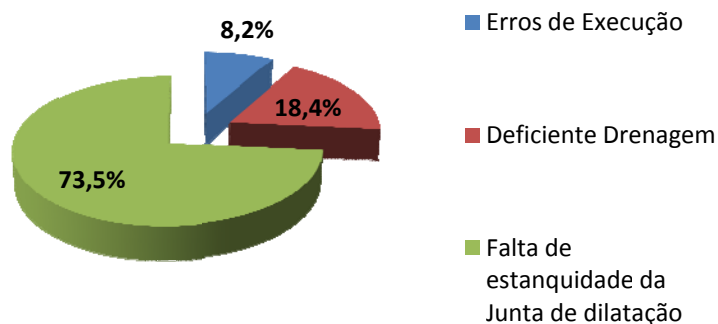


Figura 6.13 – Causas do aparecimento de manchas e escorrências nos encontros

Nos encontros a causa com maior percentagem de ocorrência é a falta de estanquidade da junta de dilatação. Pela descontinuidade existente entre o tabuleiro e o encontro, onde normalmente estão aplicadas as juntas, metálicas, de neoprene ou outras, é que incide a água das chuvas, caindo constantemente sobre a mesa do encontro e escorrendo pelas suas paredes, frontal ou laterais conforme a sua configuração. Se o encontro não estiver impermeabilizado e concebido para receber essas águas, elas serão foco de várias anomalias.

#### 6.2.4.2 Causas da fissuração nos encontros

Tal como nos restantes elementos de betão armado apresentados os encontros também padecem de fissuração, e também aqui esta não está diferenciada, estando incluídos todos os tipos de fissuração.

No gráfico abaixo registam-se as causas possíveis mais prováveis das obras em estudo.

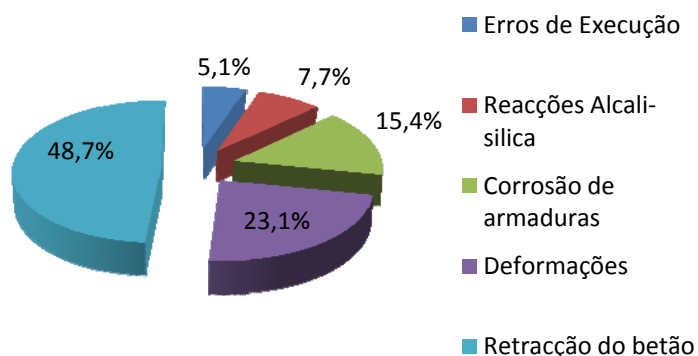


Figura 6.14 – Causas da fissuração nos encontros

À semelhança do registado na análise da fissuração no tabuleiro, a causa possível mais provável de fissuração nos encontros é a retracção do betão, surgindo aqui com uma maioria mais expressiva do que nos casos anteriores, com 48,7%. Esta diferença nos encontros poderá justificar-se pelo facto de serem estruturas que normalmente têm maiores volumes de betão no seu interior.

A causa que surge em segundo lugar é a ocorrência de deformações, que nos casos de estudo estão associadas essencialmente a assentamento de fundações, surgindo também nalguns casos esmagamentos localizados devido á dilatação do tabuleiro.

A corrosão de armaduras surge com uma percentagem de ocorrência de apenas 15,4%, provavelmente facilitada pelas fracas condições de drenagem.

#### 6.2.4.3 Causas dos defeitos de betonagem nos encontros

Aplicando-se aqui o mesmo conceito subjacente á anterior designação do autor, para “Defeitos de betonagem”. E novamente as causas são erros de projecto, ao não contemplar geometria das peças e o ambiente a que estão normalmente expostas, e erros de execução, desde a produção do betão á aplicação e descofragem.

#### 6.2.4.4 Causas da exposição de armaduras nos encontros

Como elementos de betão armado os encontros também sofrem de corrosão e exposição de armaduras. Evidenciam-se no gráfico abaixo as causas possíveis mais prováveis determinadas nas obras analisadas.

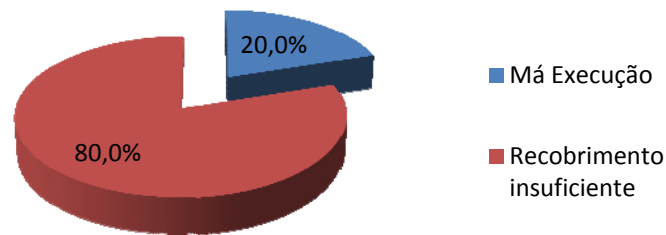


Figura 6.15 – Causas da exposição de armaduras nos encontros

Nos encontros, das obras analisadas, verificou-se que a grande causa de exposição de armaduras é a aplicação de recobrimento insuficiente, é de notar que quando surge em todas as análises anteriores a designação de recobrimento insuficiente, não implica um recobrimento inferior ao mencionado em projecto, ou ainda ao exigido pela legislação em vigor aquando da execução do projecto. Implica apenas um recobrimento que não foi suficiente para proteger as armaduras que envolve.

Surge como segunda causa possível e mais provável e má execução. Sendo assim, poderíamos pensar que a aplicação de um recobrimento abaixo do necessário como um caso particular de má execução? No entanto por ser particular foi excluído, também pelo motivo mencionado no parágrafo anterior.

Nas obras analisadas, foram encontrados vários casos em que as armaduras expostas eram armaduras construtivas, como esticadores de cofragem ou distanciadores. Esta patologia foi mais visível no interior dos encontros que não está á vista desarmada, e talvez daí a sua maior incidência. Estas armaduras construtivas quando estão encamisadas com tubos de pvc, não implicam senão manchas no betão, no entanto quando estão embebidas no betão, e ainda em contacto com as restantes armaduras, poderão transmitir-lhes corrosão, afectando assim a restante estrutura.



### 6.2.4.5 Causas do crescimento de vegetação nos encontros

Como foi já mencionado, na análise dos apoios intermédios, o crescimento de vegetação invasiva sobre os encontros, tem como causa a falta de manutenção. Assume particular importância quando encobre outras manifestações patológicas mais graves.

### 6.2.4.5 Causas das deformações nos encontros

Nas obras analisadas, apenas 10 foram registadas como sofrendo de deformações nos encontros, e em todas a causa possível mais provável indicada foi a ocorrência de assentamentos. Sendo o encontro responsável por fazer a transição entre o tabuleiro e o restante terreno, é de certa forma compreensível que ocorram ligeiros assentamentos que não chegam a causar distúrbios no tráfego, sendo apenas visíveis quando se faz uma observação mais atenta á estrutura.

### 6.2.4.6 Causas do descalçamento de fundações nos encontros

Á semelhança do que se registou nos apoios intermédios, o nº de casos registados com descalçamento de fundações dos encontros foi de 5, e em nenhum deles existia á data da inspecção motivo que exigisse imediata intervenção.

As causas possíveis e mais prováveis, prendem-se com erosão do leito sob a base do talude do encontro, ou mesmo erosão do próprio talude. Estas anomalias podem surgir por variadas causas, desde falta de encaminhamento das águas pluviais, ocorrências de chuvas torrenciais, alteração do leito, etc.

### 6.2.5 Patologias na junta de dilatação

As juntas de dilatação são consideradas elementos acessórios, a sua tipologia pode variar muito, como indicado no capítulo 2. São normalmente dos últimos trabalhos realizados nas obras de arte. No entanto desempenham uma função muito importante, isto porque ao materializar a interface encontros/tabuleiro, permite que a obra esteja em serviço. Já se por algum motivo a junta de dilatação falhar, e sofrer uma rotura parcial, dependendo do esquema estrutural da obra, da hora, do dia e do gradiente de temperaturas, pode provocar a saída de serviço da obra, ou seja, deixa de ser possível a circulação sobre a mesma. Sem que o entanto em ponto algum a obra esteja em risco de colapso.

Mostra-se no próximo gráfico as patologias registadas, quanto às juntas de dilatação, nas obras analisadas.

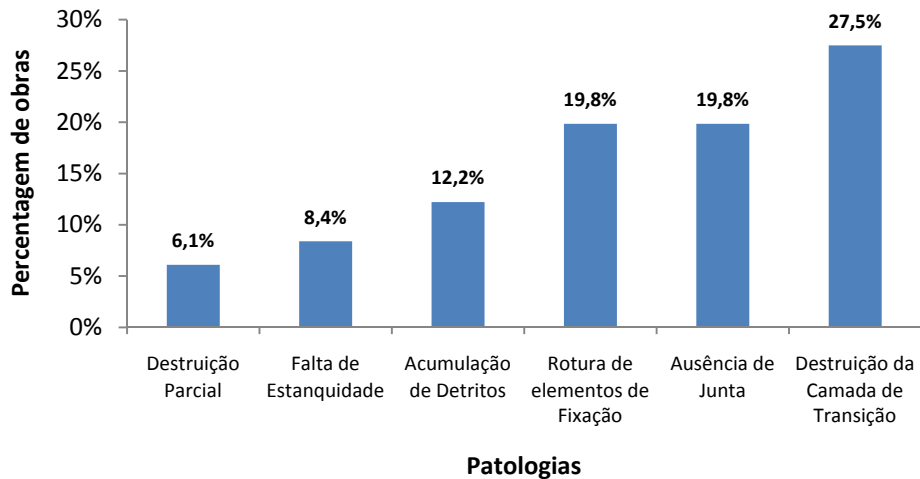


Figura 6.16 – Patologias nas juntas de dilatação

Verifica-se que a patologia que ocorre com mais frequência, num total de 27,5% dos casos analisados, é a destruição da camada de transição. A camada de transição como o nome indica é a camada que materializa a interface entre junta e o tabuleiro, e ainda entre a junta e o pavimento do encontro. Trata-se de uma camada que sofre as patologias do revestimento da via, estando sujeito às mesmas acções, além das transmitidas pela junta. A camada de transição, é ainda em alguns casos o elemento que dá o suporte á fixação da junta, nos primeiros centímetros de profundidade.

Verifica-se ainda que em 20% das obras analisadas ocorre a rotura de elementos de fixação assim como noutros 20% ocorre a ausência de junta. Esta situação inclui não só obras antigas, cujo pavimento de encontra cronicamente fissurado, por não haver nenhum material com elasticidade suficiente para colmatar a junta, assim como obras em que se fez a repavimentação sobre a junta, removendo liberdade e provocando a fissuração do revestimento da via e consequente aceleração do desgaste.

Em 12,2 % das obras analisadas detectou-se acumulação de detritos sobre os aparelhos, que dependendo da sua tipologia poderão afectar os seus graus de liberdade.

Em 8,4% das obras analisadas, a única patologia registada neste campo foi a falta de estanquidade. Isto porque é muito difícil uma junta que sofra de rotura parcial, rotura de elementos de fixação ou destruição da camada de transição seja estanque. Assim apontaram-se aqui as juntas cujo problema mais grave foi justamente a sua falta de estanquidade. Esta situação já foi apontada anteriormente como sendo a grande causadora de aparecimento de manchas e escorrências nos encontros e degradação dos aparelhos de apoio.

### 6.2.5.1 Causas das patologias na junta de dilatação

As patologias registadas surgem como efeito do uso das obras, podendo num número reduzido de casos corresponder a erros de projecto, apenas 2, os restantes são essencialmente fruto de falta de manutenção.

Ou seja, é perceptível que a camada de transição sofra desgaste, assim como os elementos de fixação, impermeabilização, etc.

Estes desgastes vão levar a obra principal a pequenas operações de manutenção/conservação. Se não houver uma rotina instalada neste sentido, a degradação das juntas leva normalmente á necessidade de total substituição.

### 6.2.6 Patologias nos muros

Neste componente estão incluídos, muros de ala, muros avenida, asas, muros de contenção e outros. Estes elementos poderão estar ligados monoliticamente á estrutura ou separados desta por juntas de dilatação.

Nos casos analisados foram apenas considerados os muros em betão armado.

Mostra-se no gráfico abaixo as patologias encontradas.

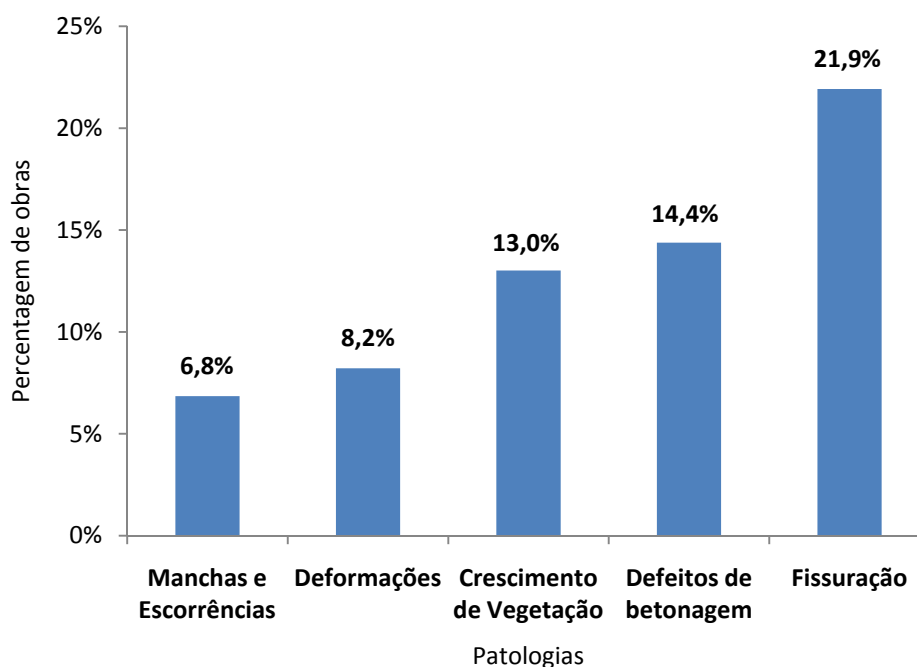


Figura 6.17 – Patologias nos muros

Novamente aqui, tal com apresentado nos restantes elemento de betão armado, a fissuração registada, inclui fissuração estrutural e não estrutural, assim como qualquer tipo de fissuração visível a olho nu.

A patologia que mais vezes foi registada nos muros foi a fissuração de betão, a segunda, em 14,4% dos casos analisados foi a ocorrência dos defeitos de betonagem.

Também os muros, á semelhança dos encontros e pilares sofrem de crescimento de vegetação, aqui em 13% dos casos de estudo.

#### 6.2.6.1 Causas da fissuração nos muros

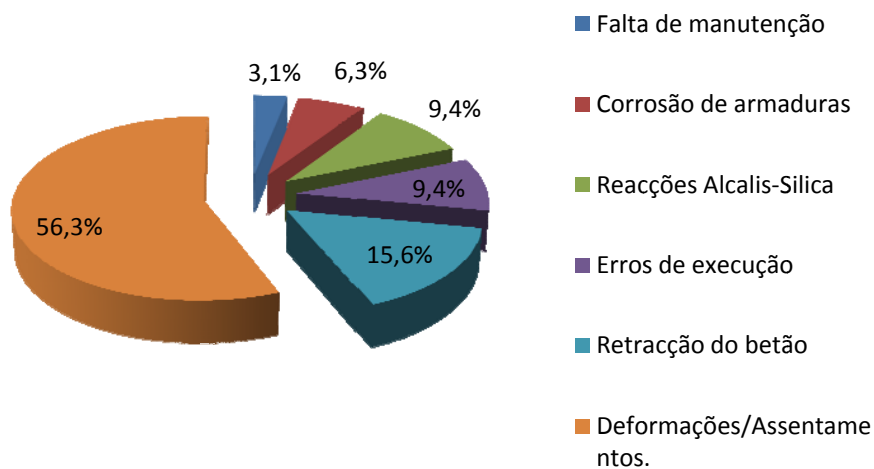


Figura 6.18 – Causas da fissuração nos muros

Mais uma vez, é importante analisar as condicionantes que envolvem os muros, as acções a que estão predominantemente expostos, e a função para que são executados.

Contrariando a tendência dos restantes elementos de betão armado, nos muros das obras analisadas, a causa possível mais provável registada em 56,3% das obras analisadas foi a ocorrência das deformações/assentamentos. Esta designação foi usada de forma a incluir essencialmente assentamentos de apoios, dilatações e retracções na direcção longitudinal e ainda deformações provocadas pelo impulso dos terrenos contidos.

A segunda causa possível mais provável registada com apenas 15,6% foi a retracção do betão, com percentagens iguais a 9,4% registaram-se os erros de execução e as reacções álcalis-silica.

#### 6.2.6.2 Causas dos defeitos de betonagem nos muros

Tal como registado nos elementos de betão armado, tabuleiro, encontros e pilares, aqui os defeitos de betonagem incluem as mesmas anomalias, e as mesmas causas, que vêm desde erros de projecto até aos erros de execução. Atendendo á diferença entre os muros e os restantes elementos, poderão ser entendíveis algumas diferenças nos resultados obtidos. Os muros são elementos vistos numa cultura de obra, como pouco importantes, executados numa fase final onde normalmente os prazos estão a terminar e as atenções direccionadas para outras questões. Dai que possam estar mais sujeitos a erros de execução, assim como ser alvo de pouca pormenorização em fase de projecto.

#### 6.2.6.3 Causas do crescimento de vegetação nos muros

Tal como mencionado nos encontros e apoios intermédios, os muros estão também sujeitos á invasão, obstrução e “ataque”, por espécies vegetais que poderão encobrir outras manifestações patológicas mais graves. A sua causa é essencialmente a falta de manutenção, que poderá ser agravada por condicionantes de obra, como dificuldade de acesso, ou necessidade de entrar em propriedade privada para operações de manutenção, ou outros.

#### 6.2.6.4 Causas das deformações nos muros

É de notar que em nenhum dos casos analisados as deformações registadas eram graves. Graves no sentido de implicar uma reparação urgente.

Mostram-se no gráfico seguinte as causas possíveis mais prováveis registadas.

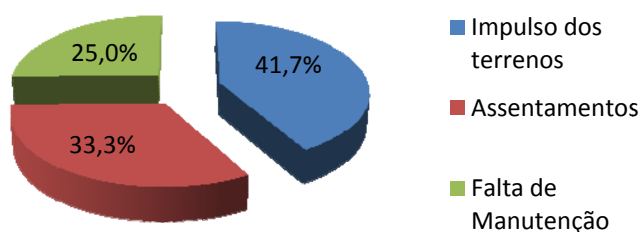


Figura 6.19 – Causas das deformações nos muros

Regista-se como causa possível mais provável em 41,7% das obras analisadas, os impulsos dos terrenos. Esta situação inclui essencialmente duas origens, ou erros de projecto, ou alteração das condições de serviço inicialmente previstas. Se o projectista

calculou o muro para resistir a um impulso de 1m de terras, sem qualquer tipo de trânsito, e se passados 10 anos, já existem 1,5m de terreno a ser cultivado por tractores agrícolas, então tanto as acções permanentes como as sobrecargas variaram consideravelmente, fazendo com que a actual capacidade resistente do muro não seja suficiente para as condições de serviço actuais.

Como segunda causa possível mais provável, registaram-se os assentamentos, que novamente poderão surgir por alteração das condições do substrato, ou ainda alterações das condições de serviço. Pode dar-se o caso do projectista admitir condições drenadas, e passados 10anos, o sistema de drenagem estar completamente obstruído levando a deformações, e dependendo da geometria das peças a assentamentos diferenciais.

Como terceira e última causa possível e mais provável, foi registado a falta de manutenção.

#### 6.2.6.5 Causas das manchas e escorrências nos muros

As manchas e escorrências presentes nos muros tem origem em erros de projecto e falta de manutenção. Isto porque são vistos como elementos secundários e assim não têm preocupações quanto ao seu aspecto. Normalmente os sistemas de drenagem executados, têm como objectivo livrar o muro do impulso hidrostático, e não tem preocupação em evitar que sofra de manchas ou escorrências por passagem repetida de água, mesmo que em volumes muito reduzidos. No entanto sabe-se que não se trata apenas de uma preocupação estética, mas sim da necessidade de garantir a durabilidade do betão armado, protegendo da acção contínua da água.

#### 6.2.7 Patologias no revestimento da via

A patologia registada no revestimento da via é essencialmente a sua degradação, ou seja, existência de buracos no pavimento, normalmente betuminoso, existência de sobre elevações fruto de correcções com betuminosos colocados a frio e a acumulação de terras e areias.

O revestimento da via além de garantir o conforto aos utentes, a sua maior ou menor segurança de utilização, funciona também como a primeira camada de protecção á laje to tabuleiro. Ou seja, a constituição do revestimento e a sua manutenção influi na maior ou menor durabilidade do betão do tabuleiro. Se estiver contemplado uma camada de regularização, impermeabilização e camada de desgaste, além de estar assegurada a segurança para os utentes, está também assegurada a protecção da acção constante da chuva sobre o betão do tabuleiro.

Além da falta de manutenção, dá-se também, quanto ao revestimento da via, por vezes, uma manutenção incorrecta, ou seja, a aplicação constante de camada sobre camada, aumentando as cargas permanentes a que está sujeita a estrutura, aplicação de betuminoso sobre as juntas de dilatação, impedindo o seu normal funcionamento e levando á rotura do betuminoso.

### 6.2.8 Patologias nos taludes

Os taludes são elementos que podem assumir as mais variadas formas, desde taludes em saia, em rampa lateral, desenvolvendo-se perpendicularmente á direcção longitudinal da obra, ou em rampa sob a obra, perfazendo uma cunha de terreno á frente do encontro e debaixo do tabuleiro.

De uma forma muito genérica existem dois tipos de talude, os tratados e os não tratados. Os primeiros são taludes revestidos com elementos que além de favorecerem a sua componente estética, pretendem aumentar a sua impermeabilização, facilitar a sua manutenção e aumentar a sua segurança, relativamente á possibilidade de ocorrência de deslize ou rotura por cunha do talude.

Assim consoante o revestimento aplicado surgiram patologias diferentes, quer se trate de betão armado, pedra arrumada, terra armada, argamassa armadas com malhas electro-soldadas, ou ainda terra natural, podendo ser ainda colocadas espécies cujo desenvolvimento favorecerá a segurança do talude.

No gráfico abaixo evidenciam-se as patologias registadas nas obras analisadas.

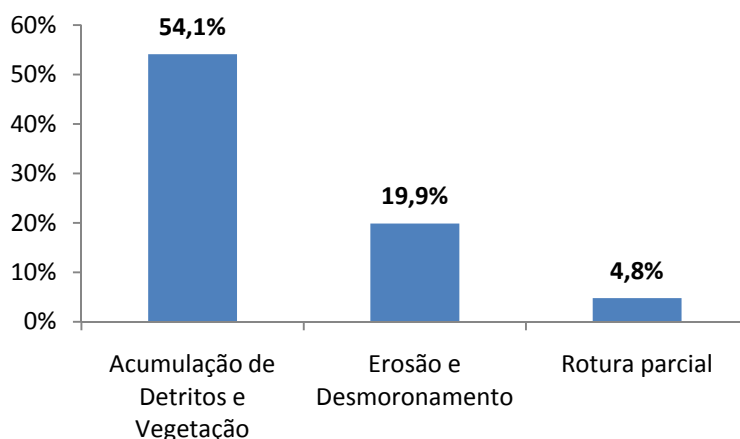


Figura 6.20 – Patologias nos taludes

As patologias encontradas, conseguem-se agrupar em três grupos, acumulação de detritos e vegetação, que ocorreu em 54,1% das obras analisadas, erosão e

desmoronamento em 19,9% e roturas parciais em apenas 4,8%, que corresponde a sete casos de estudo.

#### 6.2.8.1 Causas da acumulação de detritos e vegetação nos taludes

Esta patologia tem essencialmente origem na acção humana, quer pelo despejo ilegal de entulho, quer pela falta de manutenção que permite o crescimento de vegetação invasiva, que apesar de proteger o terreno do talude, impede o acesso aos encontros e poderá encobrir determinadas manifestações patológicas.

#### 6.2.8.2 Causas da erosão e desmoronamento dos taludes

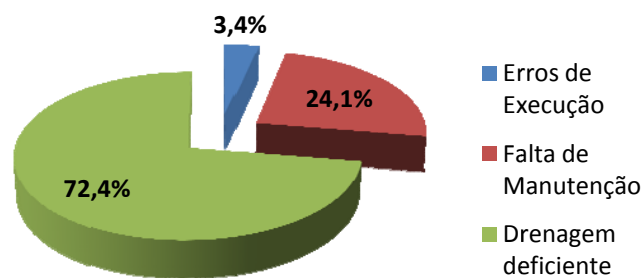


Figura 6.21 – Causas da erosão e desmoronamento dos taludes

Verifica-se que a causa possível mais provável registada em 72,4% dos casos de estudo corresponde a uma drenagem deficiente. Um mau encaminhamento das águas pluviais durante uma chuvada torrencial, pode ser o suficiente para lavar a base de um talude, arrastando-o e desintegrando o terreno que o compõe, basta que estejam reunidas as condições necessárias.

Em segundo lugar, registada em 24,4% das obras analisadas, a causa possível mais provável foi a falta de manutenção.

#### 6.2.8.3 Causas da rotura parcial dos taludes

Foi considerada uma patologia, designada “rotura parcial”, de forma a incluir as situações em que se dão deslizos de terras, ou roturas de parcelas de taludes revestidos e tratados.

Mostram-se no próximo gráfico as causa possíveis mais prováveis registadas nas obras analisadas.



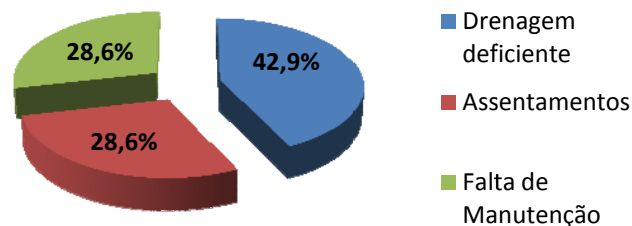


Figura 6.22 – Causas da rotura parcial dos taludes

É de notar que o gráfico acima, teve como base apenas sete casos de estudo, ou seja, do universo de obras analisadas, apenas sete sofreram, á data da inspecção, roturas parciais dos taludes. Assim sendo apesar das percentagens acima, os números envolvidos são os seguintes, 3 obras apresentavam como causa a deficiente drenagem, 2 os assentamentos e outras 2 a falta de manutenção.

A deficiente drenagem poderá facilmente provocar a lavagem da base de um talude levando em casos mais graves á sua rotura.

Os assentamentos provocam deslocamento que não são de todo suportados pelos taludes, levando assim a roturas parciais.

A falta de manutenção surge também como causa possível e provável. Por exemplo pode dar-se o crescimento de uma espécie vegetal não apropriada para a protecção do talude, que depois de atingir uma determinada envergadura venha a cair sob acção do vento, trazendo consigo uma boa parte do talude.

### 6.2.9 Patologias nos sistemas de drenagem

As patologias nos sistemas de drenagem como exposto em toda análise anterior, podem provocar uma vasta gama de patologias em quase todos componentes de uma obra-de-arte. Ou seja, não será propriamente o sistema de drenagem o agente agressivo, mas o facto de não cumprir com a sua função, não garantindo o correcto encaminhamento das águas pluviais. Essas sim vão actuar como origem de várias anomalias.

As patologias nos sistemas de drenagem são essencialmente duas, ou obstrução, ou ineficácia, que no seu extremo significa inexistência.

A obstrução dos sistemas de drenagem são causados pela falta de manutenção, e pela má utilização, ou seja, um sistema de drenagem de águas pluviais não foi concebido para escoar lixo, terra, ou outros sólidos, apenas águas pluviais.

A ineficácia ou inexistência, tem origem em erros de projecto, pelo facto de não contemplarem sistemas eficazes com capacidade de escoamento suficiente, ou pelo facto de não ser contemplado de todo.

### 6.3 Análise geral da ocorrência de patologias no betão armado

Feita a análise que permitiu descrever e localizar a ocorrência de patologias nos vários componentes das obras de arte que compõem o universo de amostragem, pretende-se agora ver outra perspectiva.

No gráfico seguinte, mostram-se as percentagens obtidas para algumas patologias principais, sem destriçar onde ocorrem, novamente mantendo os princípios já enunciados na análise individual dos componentes, ou seja, indica-se a ocorrência ou não de uma determinada patologia, não descrevendo a sua maior ou menor extensão.

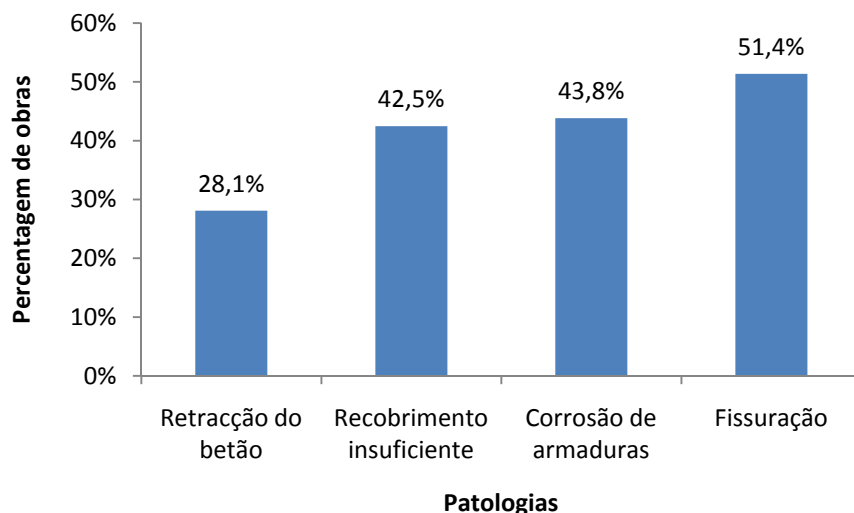


Figura 6.23 – Ocorrência de patologias nas obras de arte

Verifica-se que efectivamente a patologia que ocorre com mais frequência é a fissuração. É possível que este valor esteja inflacionado pelo facto da análise feita ser apenas qualitativa e não quantitativa. Já que existem inúmeros tipos de fissuração com causas e níveis de gravidade muito diferentes.

Como segunda patologia com maior percentagem de ocorrência, registou-se a corrosão de armaduras. Aqui á semelhança da fissuração, não foi feita uma análise quantitativa que permita distinguir as obras, onde a corrosão de armaduras se dá de

forma sistemática, dos casos onde essa corrosão é de armaduras construtivas ou ainda onde se dá de forma muito pontual.

Quanto ao recobrimento insuficiente, registado em 42,5% das obras analisadas, como já foi mencionado, não implica má execução ou ainda erro de projecto, indica apenas que nas obras em causa foram aplicados recobrimentos abaixo do regulamentar á data da inspecção, tendo-se verificado insuficientes para a protecção das armaduras face ao ambiente a que estavam expostas.

E com a menor das percentagens, a retracção do betão, também aqui, sem qualquer tipo de referencia quantitativa, sendo por isso difícil avaliar a gravidade das situações apontadas assim como a sua extensão. No entanto servirão para indicar uma tendência verificada no universo de amostragem usado.

### 6.4 Correlação entre patologia ano de construção

Das 146 obras de arte que compõem o universo de amostragem, apenas 56 têm registo do ano de construção, ou seja, diminui consideravelmente o número de casos analisados.

No entanto, tirando ainda partido desses 56 casos de amostragem, e agrupando-os por décadas, mostra-se no próximo gráfico a relação entre ocorrência de fissuração, retracção e exposição de armaduras e o respectivo ano de construção.

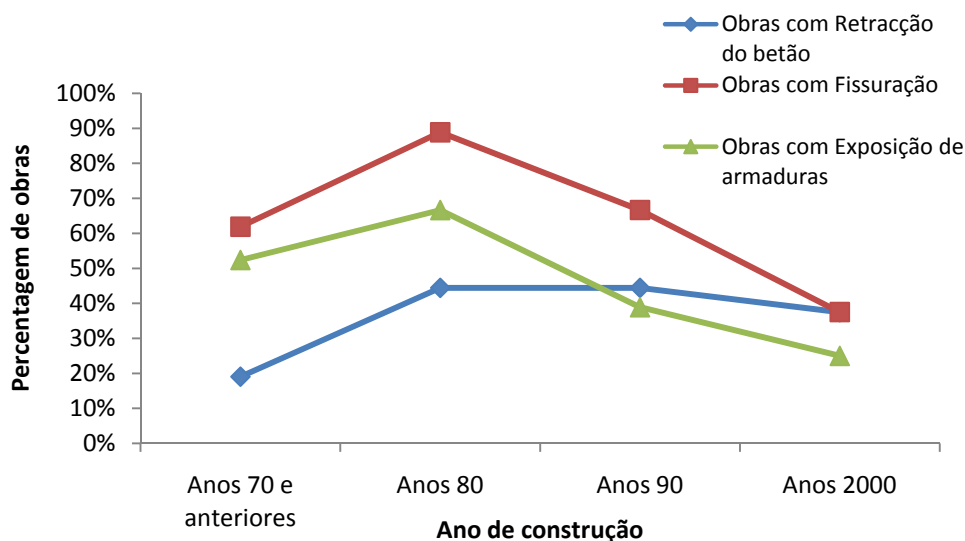


Figura 6.24 – Evolução da ocorrência de fissuração e retracção de betão assim como exposição de armaduras no tempo.

Na análise do gráfico acima, podemos verificar desde da década de 80 uma tendência geral para a diminuição da ocorrência das patologias aqui registadas, sendo a retracção do betão aquela cuja diminuição só ocorre a partir da década de 90.

Esta diminuição global, estará certamente influenciada pelo facto das obras serem cada vez mais recentes, estando menos tempo sujeitas às acções de serviço e às condições atmosféricas.

No entanto, certamente que a melhoria dos processos construtivos, a melhoria dos materiais de construção, o seu aumento de especificidade e o aumento da exigência das fiscalizações e donos de obra, também terão influenciado positivamente esta diminuição.

Verifica-se que a exposição de armaduras e a fissuração do betão são duas patologias cuja evolução, neste intervalo de tempo, e para as obras analisadas, é semelhante, existindo quase que um paralelismo entre as curvas obtidas.

Voltando atrás na análise efectuada a cada elemento de betão armado vemos que a corrosão de armaduras tem sempre uma percentagem muito significativa de casos em que surge como causa da fissuração. Ou seja, dá-se a corrosão de armaduras, quer por falta de recobrimento ou falta de protecção química das armaduras, quando estas ainda estão envolvidas em betão. Com o desenrolar do processo de oxidação das armaduras, estas sofrem expansão, transmitindo ao recobrimento tensões de tracção que darão origem a fissurações. Assim é licito pensar que sempre que aumenta a ocorrência de corrosão de armaduras que ainda estão envolvidas em betão, a fissuração também deverá aumentar.

No entanto também existem obras, em que o processo se desenrola no sentido contrário, ou seja, se quer por deformações, esforços, retracção ou reacções álcali-silica ocorrerem padrões de fissuração no betão, estes vão facilitar as reacções de oxidação das armaduras, já que aumentam a permeabilidade do betão ao ar e á água. E assim o processo inicia-se de "fora para dentro", ao invés de "dentro para fora", como mostrado no parágrafo anterior.

A diferença medida em cada instante na vertical entre as duas curvas, mostram a percentagem de obras, cuja corrosão de armaduras e a fissuração não estão relacionadas.

Quanto á retracção de betão, será de esperar uma percentagem global inferior ao registado em décadas anteriores, no entanto o avançar da idade das obras terá aqui menor influência, já que a retracção do betão ocorre nos primeiros anos durante e

após a construção. Ou seja, uma obra cujo betão aplicado em determinado elemento teve uma relação água/cimento incorrecta face às condições atmosféricas aquando da sua betonagem e cura, apresentará fissuração não ao fim de 10 anos, mas mais provavelmente até aos 5 anos seguintes á ocorrência do erro que lhe deu origem.

Assim, quer a obra tenha 10 anos, ou apenas 5, pode-se registar e verificar a presença ou não de retracção do betão com alguma segurança.

Para melhor compreender o gráfico anterior, mostra-se no gráfico seguinte o número de casos de amostragem para cada variável deste estudo, evidenciando que sempre que o universo de amostragem diminui, a fiabilidade dos resultados acompanha essa diminuição.

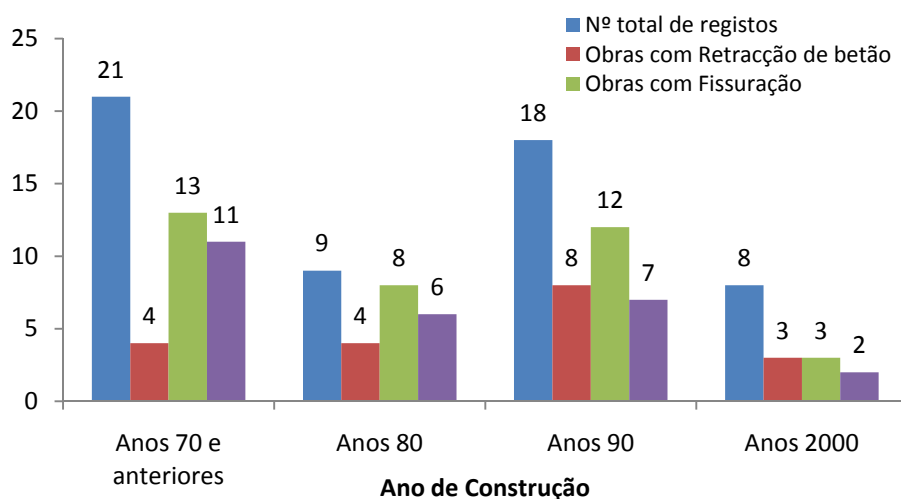


Figura 6.25 – Evolução da ocorrência de fissuração e retracção de betão assim como exposição de armaduras no tempo.

Verifica-se que o nº de casos de amostragem vai diminuindo à medida que diminui a idade das obras. Certamente porque quanto mais recentes são, menor a necessidade de serem sujeitas a inspecções.

## 6. 5 Correlação entre patologia e ambiente em que se insere a obra

### 6.5.1 Classes de exposição segundo anterior ENV 206

Nos relatórios de inspecção consultados, tal como referido no capítulo 5, eram descritas as classes de exposição ambiental a que estavam sujeitas as obras em análise, de acordo com a ENV 206 e a E378.

Vejamos no gráfico seguinte a evolução do registo de patologias nos casos de estudo, quando comparados com as classes de exposição ambiental 2a e 2b.

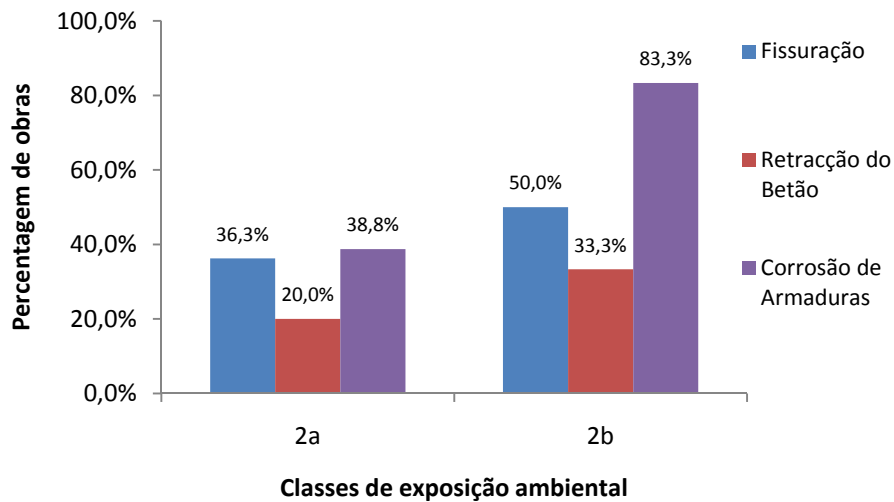


Figura 6.27 – Relação das patologias com as classes de exposição ambiental 2a e 2b (ENV206).

É importante referir que a actual ENV206 já apresenta uma classificação de exposição ambiental diferente, no entanto aqui será exposta a classificação usada aquando das inspecções às obras em causa.

A classe de exposição ambiental, 2a, significa que a estrutura está sujeita a um ambiente húmido sem gelo, como no interior de edifícios com humidade elevada, ou elementos exteriores, ou ainda elementos em solos ou água não agressivos. [11]

A classe de exposição ambiental, 2b, significa que a estrutura está sujeita a um ambiente húmido com gelo, como elementos exteriores expostos ocasionalmente ao gelo ou elementos em solos ou águas não agressivas e expostos ao gelo. [11]

A acção do gelo-degelo pode ter efeitos perniciosos sobre o betão e, em particular, o jovem. A água, ao solidificar, aumenta 9% em volume, pelo que os efeitos mais graves no betão só se dão para coeficientes de saturação deste superiores a 0.9. É exactamente nas primeiras horas de cura do betão que essa saturação é necessária para a total hidratação do cimento. Como coincide com as menores resistências mecânicas do betão, a solidificação da água nele contida nas primeiras horas é suficiente para levar à sua ruína por fendilhação generalizada devido às tensões internas geradas. [10] Acontece por vezes que a resistência do betão aumenta ligeiramente após o degelo, mas o betão resultante é tão débil e poroso que tem que ser demolido.

No entanto a ocorrência isolada de gelo no betão endurecido não é, em geral, motivo de preocupações mas, mesmo num bom betão a repetição prolongada de ciclos gelo-degelo acaba por provocar estragos.

Assim será de esperar que as estruturas que estão expostas á acção do gelo-degelo, tenham mais percentagem de fissuração do betão, corrosão de armaduras e retracção do betão.

#### 6.5.2 Classes de exposição segundo anterior E378

E378-1996, é uma documentação normativa, emitida pelo LNEC, laboratório nacional de engenharia civil, com o título: Guia para utilização de ligantes hidráulicos. Esta edição substituiu a anterior editada em 1993, e entretanto ambas já foram substituídas pela E 464-2005, Especificação do LNEC, com o título: Betões. Metodologia prescritiva para a vida útil de projecto de 50 anos face às acções ambientais. Esta surge com uma caracterização de classes de exposição ambiental mais específica, consoante os diferentes elementos agressivos que compõem o ambiente envolvente das obras.

Segundo a E378, existem 3 grupos de classificação da classe de exposição ambiental, que são:

- Exposição á acção da carbonatação;
- Exposição á acção do gelo/degelo;
- Exposição á agressividade química.

A carbonatação consiste na formação de carbonato de cálcio por reacção do dióxido de carbono do ar que penetra por difusão no betão através dos poros capilares, sempre que exibem continuidade, como hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento *portland*. A carbonatação reduz o pH da solução intersticial do betão para cerca de 9, provocando a despassivação das armaduras e consequentemente a sua corrosão. [10]

Por sua vez a corrosão para que ocorra, em termos de humidade relativa, terá que estar algures entre 45% e 85%, já que abaixo deste intervalo não existe humidade suficiente, e acima não existe oxigénio livre suficiente.

Quanto á classe se exposição por acção da carbonatação, e E378, define 4 classes:

- EC1 – ambientes secos, raramente húmidos, com humidade relativa,  $HR < 45\%$ , como no interior de edifícios ou outras estruturas em ambientes secos;
- EC2 – ambientes húmidos, raramente secos, com  $HR > 85\%$ , como em partes de estruturas de retenção de água ou em fundações;

- EC3 – ambientes de humidade moderada,  $45\% < HR < 85\%$ , como betão protegido de chuvas e não sujeito a condensação;
- EC4 – ambientes com ciclos de molhagem/secagem, como o betão em contacto com água ou sujeito a condensação.

Face aos elementos caracterizados no universo de amostragem, procede-se á análise da evolução da corrosão de armaduras com a exposição á acção da carbonatação.

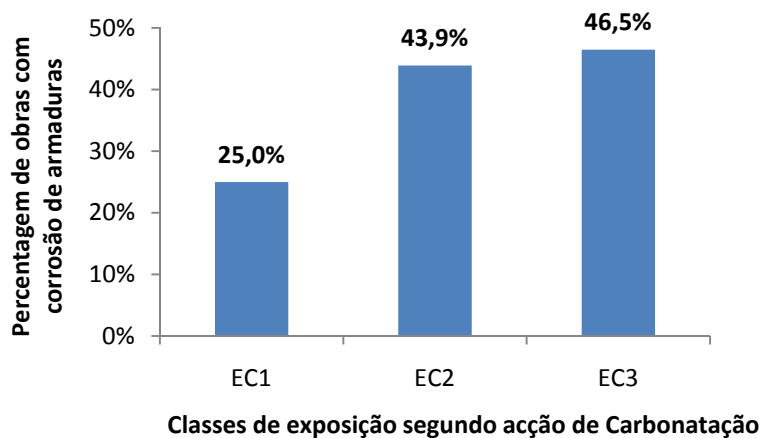


Figura 6.28 – Relação corrosão de armaduras com a classe de exposição segundo a acção da carbonatação.

Como seria de esperar, regista-se um maior nº de obras com corrosão de armaduras nos ambientes progressivamente mais propícios á carbonatação do betão, e consequentemente á corrosão de armaduras, como explicado anteriormente.

### 6.5.3 Interior vs. Zona Costeira Marítima

Pretende fazer-se neste ponto, uma análise da influência da proximidade das obras ao mar, no desenvolvimento das patologias.

Uma vez que face aos elementos consultados é de todo impossível detectar qual o afastamento das obras á linha marítima mais próxima, decidiu-se por escolher outro critério. Escolhendo para isso dois grupos, um intitulado Distritos do interior, onde estão incluídas as obras analisadas pertencentes a distritos do interior do país, sem qualquer fronteira marítima. E o segundo grupo, Distritos com Zona Costeira Marítima, onde estão incluídas obras analisadas que pertencem a distritos que têm fronteira com o mar. Este critério é meramente indicativo, porque existem obras que apesar de



pertencer a distritos que tem pelo menos uma fronteira com o mar, poderão está a 30 km deste, num ambiente a 200m de altitude.

No entanto com os dados colhidos fez-se a melhor das aproximações, obtendo-se o seguinte gráfico.

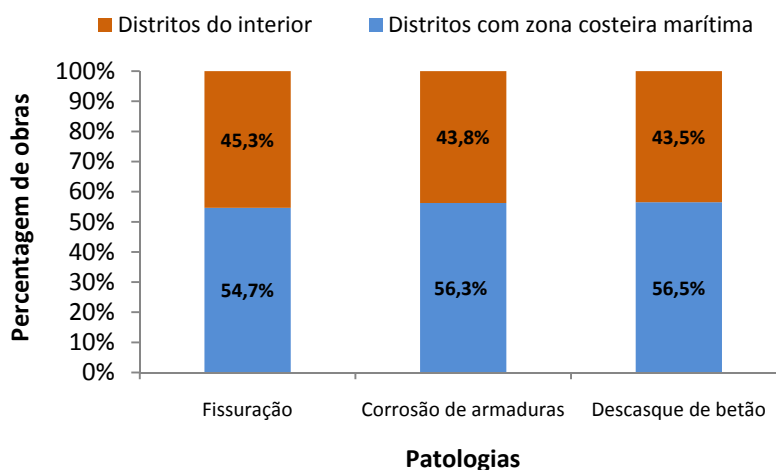


Figura 6.29 – Distritos Interiores vs. Distritos com Zona Costeira.

Da análise do gráfico cima, verifica-se, nestas 3 anomalias, fissuração de betão, corrosão de armaduras e descasque de betão, uma tendência para percentagens maiores de ocorrência em distritos com a zona costeira marítima.

Apesar da diferença encontrada ser reduzida, poderá ser explicada pela maior agressividade do meio, em relação ao ataque dos cloretos.

Os cloretos da água do mar penetram no betão sob forma de iões, atingem as armaduras despassivando-as localmente, produzindo inicialmente a corrosão por picaduras, de maiores riscos do que a produzida por carbonatação. O transporte dos iões cloreto no líquido intersticial do betão ou no dos poros capilares pode fazer-se por difusão, permeabilidade, por sucção capilar ou por conjuntos destes mecanismos de transporte. [10]

Assim, verificando-se uma maior probabilidade de ocorrência de corrosão de armaduras, é compreensível que ocorra mais descasque de betão, já que na análise efectuada no ponto 6.2.1.1, verificou-se que a causa possível mais provável de ter provocado o descasque do betão no tabuleiro foi a corrosão de armaduras.

Quanto á ocorrência de fissuração, apesar de nas análises anteriores, aos componentes de betão armado, a corrosão de armaduras não ter sido sempre registada com maior percentagem como causa possível mais provável, esteve sempre nos 3 primeiros lugares, influenciando também a ocorrência de fissuração de forma significativa.

## 6.6 Relação entre o registo de erros de execução e a idade das construções

Apesar da informação presente no gráfico seguinte, importa descrever que estão incluídos na patologia, erros de execução, toda e qualquer situação, cuja execução poderia ter sido mais cuidada, e não só erros crassos. É ainda importante termos a consciência que o evoluir do tempo, e a acção dos agentes atmosféricos, evidenciam todo e qualquer defeito.

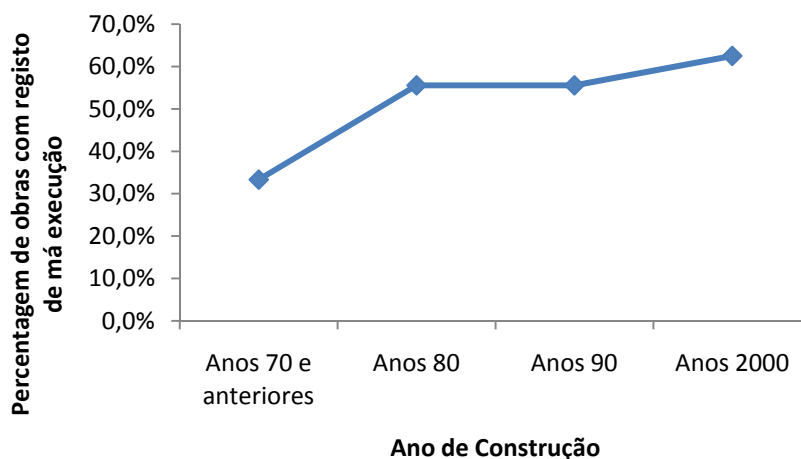


Figura 6.26 – Evolução do registo de erros de execução no tempo.

Ou seja, o registo de erros de execução, vai tomando lugar cada vez mais cedo, provavelmente causado pela crescente vontade dos elementos responsáveis, em concluir as construções o quanto antes, não respeitando para isso alguns prazos de secagem e cura controlada essenciais á boa qualidade da construção.

## 6.7 Relação entre patologias e o registo de erros de execução

O registo de erros de execução numa obra, quer seja no tratamento das cofragens, no posicionamento das armaduras construtivas, no acabamento de superfícies, ou outros,

poderá dar indício de uma construção com mais tendência á ocorrência de patologias, com o passar do tempo. Mostra-se no próximo gráfico a percentagem de ocorrência de determinadas patologias em obras nas quais foram identificados casos de erros de execução, em comparação com obras analisadas, que não tiveram qualquer registo de má execução.

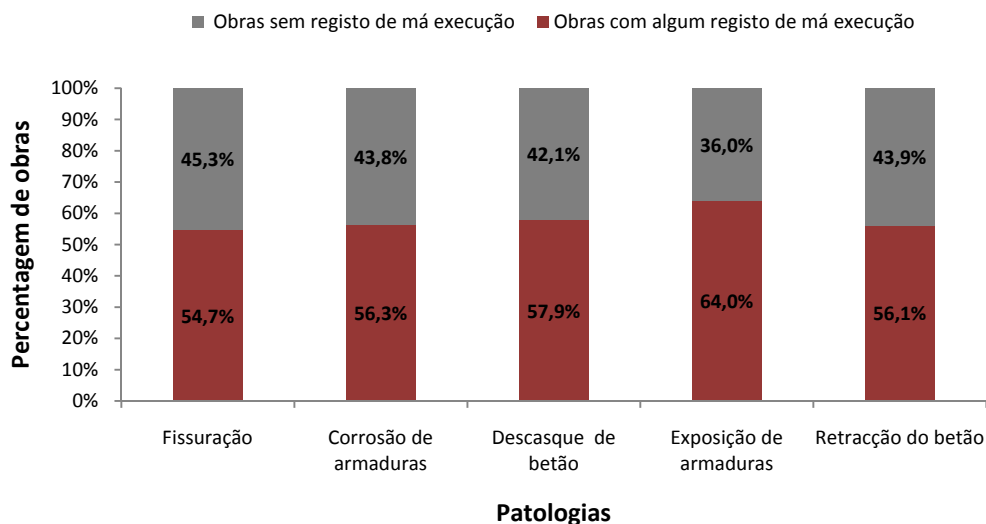


Figura 6.30 – Relação do registo de erros de execução com a ocorrência de patologias.

Pela análise do gráfico, verifica-se que em todas as patologias aqui registadas, fissuração, corrosão de armaduras, descasque de betão, exposição de armaduras e retracção do betão, existe uma predominância de obras com registo de algum tipo de erro de execução, quando comparadas com obras nas quais não foram identificados quaisquer erros de execução.

Mais uma vez se evidencia a importância de uma boa pormenorização de projecto e uma persistente fiscalização de obra para garantir a sua qualidade e consequente durabilidade.

## Capítulo 7

### Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Antes de iniciar a apresentação de conclusões, é importante relembrar que os dados que serviram de base para o estudo desenvolvido no capítulo 6, foram colhidos não numa pesquisa aleatória de obras a nível nacional, mas sim a um conjunto de obras que foi sujeito a uma inspecção principal. Ou seja, não estão incluídas obras mais recentes, nem obras cuja inspecção de rotina não indicou a existência de qualquer anomalia.

O autor pretendeu essencialmente analisar, não as percentagens de ocorrência de patologias numa amostra aleatória de obras, mas analisar as causas de ocorrência das patologias nas obras inspeccionadas, de forma obter tendências do que são os factores principais de degradação das obras de arte a nível nacional.

As conclusões que serão apresentadas, no ponto seguinte, visam sistematizar as observações registadas no capítulo anterior.

#### 7.1 Conclusões das Análises Directas

##### *Distribuição das patologias nos componentes*

Dos componentes cujas patologias poderão eventualmente atingir um carácter estrutural, destacaram-se o tabuleiro e os encontros, como sendo os elementos com mais registos de anomalias, obtendo-se as percentagens de 65,8% e 61% respectivamente.

Quanto aos elementos cujas patologias são não estruturais podendo no entanto ser funcionais, destacam-se o revestimento da via e os taludes, com 67,8% e 60,3% respectivamente.

Destaca-se aqui o revestimento da via, que apesar de não assumir um carácter estrutural, quando degradado causa desconforto aos utentes, diminuindo o seu nível de serviço.

### *Face inferior do Tabuleiro*

Das patologias registadas, as que assumiram maior importância no tabuleiro foram o descasque de betão, a exposição de armaduras, o aparecimento de manchas e eflorescências, e a fissuração de betão.

Analisando as 3 cujos efeitos poderão eventualmente vir a ser estruturais, descasque e fissuração de betão e exposição de armaduras, as suas causas possíveis mais prováveis são o recobrimento insuficiente, a corrosão de armaduras e a retracção do betão.

Se analisarmos as causas próximas e primeiras destas patologias, veremos que estão relacionadas com erros de execução e projecto. Ou seja, se aplicarmos os recobrimentos adequados, (tendo em conta a legislação actual), se a produção e aplicação do betão foram corrigidos para as condições locais, ou seja a implementação de um plano de controlo de qualidade eficaz, uma boa percentagem destas patologias não ocorreriam, ou surgiriam mais tarde no tempo, garantindo mais durabilidade às obras.

### *Apoios Intermédios - Pilares*

Quanto aos apoios intermédios, ou pilares, as patologias que se registaram mais frequentemente foram, a exposição de armaduras, os defeitos de betonagem e a fissuração.

As causas possíveis mais prováveis apontadas para estas patologias foram, o recobrimento insuficiente, a corrosão de armaduras e a retracção do betão.

Novamente se analisarmos as causas próximas e primeiras, veremos que estão relacionadas com erros de execução e erros de projecto.

### *Aparelhos de Apoio*

As patologias que ocorreram com mais frequência nas obras analisadas, foram a corrosão e envelhecimento, e a deformação excessiva.

A causa possível mais provável registada foi a falta de manutenção.

Se analisarmos o problema mais profundamente veremos que os erros de execução/projecto também estão aqui englobados, isto porque o tempo de vida útil de uma obra-de-arte corrente é de 50 anos [8], e uma obra-de-arte principal é de 100 anos[8]. Já o tempo de vida útil de uma aparelho de apoio pode variar dos 25 aos 40

anos[8], no entanto mesmo na melhor das hipóteses estará abaixo do tempo de vida útil previsto para uma obra-de-arte.

Ou seja tem que estar previsto em projecto métodos construtivos e esquemas estruturais que permitam sem elevados investimentos ou distúrbios ao normal funcionamento da obra, a substituição em tempo útil dos aparelhos de apoio, ou seja a implementação de um plano de manutenção eficaz.

### *Encontros*

As patologias registadas com mais frequência nos encontros dos casos de estudo foram, manchas e escorrências, fissuração do betão, defeitos de betonagem e exposição de armaduras.

As causas possíveis mais prováveis registadas foram a falta de estanquidade da junta junto ao encontro, o recobrimento insuficiente e a retracção do betão.

À semelhança dos anteriores elementos de betão armado que compõem uma obra-de-arte, se forem analisadas as causas próximas e primeiras de cada uma destas patologias, chegamos aos erros de execução e projecto.

### *Juntas de Dilatação*

As patologias que ocorreram com mais frequência nas juntas de dilatação das obras analisadas foram, destruição da camada de transição, ausência de junta e rotura de elementos de fixação.

A causa registada como possível e mais provável foi a falta de manutenção. Factor que tem particular importância neste elemento já que apresentam tempos de vida útil de 15 a 30 anos, e as suas fixações de 5 a 15 anos [8]. Ou seja, aquando da execução de uma obra com juntas de dilatação, deveriam ser estimados tempos médios entre operações de renovação das fixações das juntas e das próprias juntas de dilatação, de forma a nunca ter de provocar interferências graves na utilização das obras.

### *Muros*

As patologias mais frequentes nos muros das obras analisadas, são a fissuração do betão, os defeitos de betonagem e o crescimento de vegetação.

As causas possíveis mais prováveis são as deformações e assentamentos os erros de execução e a falta de manutenção.

### *Revestimento da Via*

A causa da degradação do revestimento da via, prende-se com o aumento das cargas de serviço, e má execução e a falta de manutenção.

Um revestimento de via (em betuminoso), segundo "*Canadian highway bridge design code, clause 16.4*", tem um tempo de vida útil de 15 a 20 anos, ou seja, inferior ao tempo de vida útil previsto para uma obra-de-arte de betão armado.

#### *Taludes*

A patologia registada com mais frequência é a acumulação de detritos e vegetação, que algumas vezes acarreta problemas de visibilidade aos utentes.

A causa desta patologia reside essencialmente na falta de manutenção.

#### *Sistema de Drenagem*

O sistema de drenagem, apesar de parecer pouco significativo, é um elemento que quando inexistente ou deficiente provoca inúmeras anomalias para as obras-de-arte, tais como:

- Manchas, escorrências e eflorescências no betão;
- Corrosão precoce dos aparelhos de apoio;
- Erosão dos taludes;
- Quando permite a fácil e constante passagem de água pelo betão pode actuar como acelerador nas reacções internas do betão armado, que do betão propriamente dito quer das armaduras.

As suas patologias são essencialmente inexistência ou deficiência, quer de concepção quer de manutenção.

Também aqui, nos sistemas de drenagem, verificamos que os erros de projecto, execução e os erros cometidos durante o tempo de serviço são a origem.

## 7.2 Conclusões das Análises Indirectas

#### *Patologia vs. Tempo*

Na relação estabelecida para os casos de amostragem, entre a idade das obras, (ano de construção), e a ocorrência de fissuração do betão, exposição de armaduras e retracção do betão, registou-se o seguinte:

- A fissuração do betão e a exposição de armaduras tendem a diminuir á medida que a idade das obras também diminui, o que é expectável, já que a corrosão de armaduras não é um processo estático mas dinâmico.
- A retracção do betão, não diminuiu, pelo contrário registou ainda um pequeno aumento, quando comparadas, as obras construídas na década de 80 e 90,

provavelmente face às estruturas cada vez mais audazes que levam a vãos maiores, e maiores áreas de betão assim como tempo de execução cada vez mais curtos.

- No geral as 3 patologias aumentam, quando comparadas, as obras construídas na década de 80 e as anteriores.

#### *Patologia vs. Exposição Ambiental*

Quando comparadas as obras inseridas em ambientes classificados quanto á exposição ambiental, obtiveram-se valores lógicos. O que de outra forma não justificaria a classificação em si.

Ou seja, á medida que a classe de exposição ambiental foi ficando cada vez mais gravosa, a percentagem de obras com registo de corrosão de armaduras, retracção do betão e fissuração, foi aumentando. Já que quanto mais grave a classe de exposição ambiental, mais condições ambientais há para o desenvolvimento de patologias, e consequente degradação das estruturas.

#### *Patologia vs. Localização Geográfica*

Não havendo dados suficientes para uma maior pormenorização da localização das obras analisadas, foi feita uma comparação rude entre distritos que tem contacto com a costa marítima e distritos que são do interior.

Para a ocorrência de fissuração do betão, exposição de armaduras e descasque do betão, obtiveram-se valores maiores nos distritos mais próximos do mar, do que os distritos do interior. Factor este que poderá ter suporte na acção agressiva que o mar tem sobre as estruturas de betão armado, mesmo quando não há contacto directo.

#### *Patologia vs. Erros de Execução*

Nos pontos anteriores, verificou-se que os erros de execução são uma parte importante na antecipação e ocorrência de várias patologias. Apoiando esta afirmação, verificou-se que quando numa obra existe um qualquer registo de erro de execução, a probabilidade de ocorrer uma outra patologia é maior, do que numa obra onde não há qualquer registo de má execução.

Além disso verificou-se que quando relacionado o registo de erros de execução com a idade das obras, verifica-se que a percentagem tem aumentado. Registrando-se mais erros de execução em obras mais recentes. Provavelmente porque outras condicionantes estão a ser compensadas, como a melhoria dos materiais, o aumento da exigência dos regulamentos da engenharia civil.



### 7.3 Considerações finais

De uma forma geral, analisando não só as causas próximas mas as primeiras, ou seja, como definido no capítulo 4, as causas cuja ocorrência poderá estar distante no tempo, da manifestação patológica em si, verificamos, nos casos analisados uma tendência para a seguinte relação:

Erros de Projecto – Erros de Execução – Falta de manutenção

É de notar que a designação “Erros de projecto”, não implica em todos os casos um erro do ou dos projectistas, isto porque os projectos tem de ser analisados á luz dos conhecimentos existentes aquando da sua concepção, ou seja, o conhecimento dos materiais e do seu comportamento a longo prazo, os esquemas estruturais conhecidos, o equipamentos mecânicos e acessórios existentes, e outros.

Os erros de execução por sua vez também poderão contemplar algumas situações fruto da época em que foram cometidos, face aos materiais disponíveis, as tecnologias acessíveis e os equipamentos e métodos construtivos conhecidos.

A falta de manutenção é certamente um facto que se agrava no tempo, isto porque a necessidade de manutenção de um qualquer equipamento aumenta com o passar do tempo. Logo a necessidade de manutenção, e a visibilidades das anomalias provocadas pela falta de manutenção, vão aumentar proporcionalmente com o aumento da idade das obras em causa.

Outro factor que poderá ter influência, na evolução das patologias no tempo, é o aumento da poluição atmosférica que se tem vindo a verificar nas últimas décadas.

### 7.4 Desenvolvimentos Futuros

Após a conclusão dos capítulos anteriores, e mesmo durante o resumo de cada um, várias foram as questões que foram surgindo, impeditivas de obter mais conclusões, de chegar mais longe no estudo realizado. Descreve-se, de forma sucinta, alguns aspectos que trariam mais-valia ao estudo realizado:

- Aumento do nº de casos de amostragem;
- Recolha aleatória de obras, independentemente da sua idade ou estado;
- Representação de todos distritos do país;
- Recolha exaustiva de todos os dados, completando os relatórios, quando faltassem, quer o ano de construção, quer a classificação ambiental;
- Análise dos trabalhos de reparação propostos, iterando uma medida quantitativa das patologias, definindo assim uma extensão, uma gravidade de cada patologia;
- Análise de relatórios de inspecção detalhada, com revisão dos resultados dos ensaios realizados, que permitiriam ter informação mais precisa quanto á gravidade das patologias registadas e das suas causas.

O estudo realizado poderá servir de base para uma análise mais profunda, um estudo de campo, em que invés de analisar relatórios feitos por distintos inspectores, analisaria as obras usando sempre do mesmo discernimento.

Nessa inspecção a cada obra, faria uma quantificação das patologias, uma análise do projecto que lhes deu origem, análise das intervenções a que foi entretanto sujeita, registos da sua execução, e testemunhos de locais. Com toda esta informação, seria possível destrinçar e enquadrar no tempo e espaço os erros de projecto e os erros de execução.

Aprofundado o estudo sobre as patologias e as suas causas, poderia ser prescrito um tratamento específico para cada tipo de relação causa/consequência, já que para a definição de um tratamento de uma patologia tem implícito o conhecimento do que lhe deu origem.

Toda esta informação colmataria na criação de um sistema de gestão/manutenção de obras-de-arte, que permitisse reduzir os investimentos e essencialmente os custos de exploração inerentes a este tipo de obras, assim como diminuir os incómodos causados aos utentes cada vez que é interrompida uma via de comunicação.



## Bibliografia

- [1] -LNEC Especificação E1 – 1962 Vocabulário de Estradas e Aeródromos 4ªedição, Lisboa 1962
- [2] – Edgar Cardoso, engenheiro civil, Luís Lousada Soares, FEUP edições, 1ªedição 2003.
- [4] – Guy GRATTESAT – “Conception des Ponts” – Edition EYROLLES, 1978;
- [3] - W. RADOMSKI – “Bridge Rehabilitation” – Ed. Imperial College Press, Outubro de 2002;
- [5] – de Brito Jorge, em 1º Ciclo de seminários de Engenharia Civil, ESTIG, 2005, “Patologias em Pontes de Betão”
- [6] – Manual de anomalias do GOA, EP – Estradas de Portugal – EPE, 2006.
- [7] – Sitio na internet: [http: \\pt.thefreedictionary.com\\causa](http://pt.thefreedictionary.com/causa)
- [8] - Branco Fernando A. e de Brito Jorge – “Handbook of concrete bridge management”, ASCE Press, 2004
- [9] - Rocha, F., Silva Santos, A. E Gonçalves, D. – “Aplicação da Petrografia no Estudo do Papel das Reacções Alkali-Silica na degradação das Estruturas”, 2ªs Jornadas de Engenharia Civil da universidade de Aveiro, 2007.
- [10] – MEPAT – LNEC, documentação normativa E378-1996, “Betões, Guia para a Utilização de Ligantes Hidráulicos, Agosto de 1996.
- [11] – IPQ, NP ENV 206 -1, Betão – Parte 1 –“ Especificação, desempenho, produção e conformidade”, edições de 2005 e 2007.
- [12] - P.J.S. Cruz, “Linhas Orientadoras de uma política de manutenção, conservação e inspecção de pontes”, JPEE – 4ªs jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006.
- [13] - MOPTC – LNEC, documentação normativa E464 – 2005, “Betões, Metodologia prescritiva para a vida útil de projecto de 50 anos face às exposições ambientais.”, Março de 2005.

## Bibliografia

- [14] - IPQ, NP ENV 13670-1, Execução de Estruturas em Betão – Parte 1 – Regras Gerais, edições de 2005 e 2007.
- [15] - “Concrete Bridge Management: From Design to Maintenance” – American Society of Civil Engineers;
- [16] - Thomaz RIPPER – “Curso em Durabilidade, Reparação e Reforço Estrutural” – IST, 1996;
- [17] - Projecto de execução da empreitada: “ EN 305 – km 23 – Ponte de Lanheses sobre o Rio Lima”, Coba SA.
- [18] - Brinckerhoff Parsons – “Bride Inspection and rehabilitation, a practical guide”, John Wiley & Sons INC. 1993
- [19] - Jorge de BRITO – “Metodologias de Inspecção” – FUNDEC, 2002;
- [20] - S. SANTOS, Jorge de BRITO – “Estratégias de Inspecção/Manutenção de Obras de Arte” – Actas do REPAR 2000, Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Eds. S. Pompeu Santos, Mary Mum, Paulo Silveira, 2000, págs. 49-58;
- [21] - MEPAT/SEOP - “PONTE – Pensar, Ordenar, Nascer, Ter, Elevar”, 1998;
- [22] - M. Lourenço Ferreira; Eng. Civil ICERR; Lisboa \_ Contribuições para o melhoramento da gestão da conservação das pontes;
- [23] - ARMANDO RITO, Lda - Projecto da Ponte da Barra sobre o canal de Mira, 2004;
- [24] - ARMANDO RITO, Lda – Análise e Parecer sobre o Relatório de Inspecção e Ensaios e sobre as Deficiências Estruturais, Julho 2003;
- [25] - Augusto Pereira BRANDÃO – “Estradas e Pontes Romanas a Norte do Tejo” – MOPTC, SEOP, Junta Autónoma de Estradas, I Vol., 1995;
- [26] - Helene Paulo - Manual para Reparo, Reforço e Protecção de Estruturas de concreto, Projecto de Divulgação Tecnológica;
- [27] – Empresa concessionária, “Relatórios de inspecção a obras de arte”.

## ANEXO I

### TERMILONOGIA

# A

- Aparelho de apoio: dispositivo destinado a realizar a ligação de uma estrutura às obras de apoio. Ou seja, materializar a ligação entre os fustes de pilares, ou mesas dos encontros, e a face inferior do tabuleiro.[1]

- Acrotério: Elemento vertical de uma guarda, de grande volume em relação aos restantes elementos da guarda. Onde muitas vezes são colocadas inscrições com o ano de inauguração da obra e o Dono de Obra. [1]

# C

- Carbonatação: consiste na formação de carbonato de cálcio por reacção do dióxido de carbono do ar que penetra por difusão no betão através dos poros capilares, sempre que exibem continuidade, como hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento *portland*. A carbonatação reduz o pH da solução intersticial do betão para cerca de 9, provocando a despassivação das armaduras e consequentemente a sua corrosão. [10]

- Carlinga: Viga transversal que recebe as cargas transmitidas pelas longarinas ou directamente pelo tabuleiro e as transmite á estrutura principal. [1]

- Cavalete: Estrutura destinada a suportar os elementos de uma estrutura, não em arco ou abóbada, durante a sua construção. [1]

- Cimbra: Estrutura destinada a suportar arcos ou abóbadas durante a sua construção. [1]

- Cofre: Espaço limitado pelos muros de um encontro, destinado ou não a receber enchimento. [1]

- Corrosão de armaduras: Reacção que ocorre nas armaduras utilizadas na construção, em que reagem com o oxigénio, dando origem ao óxido de ferro, um composto estável quimicamente e que ocupa maior volume que o ferro, levando á expansão pela transformação das armaduras. [1]

# D

- Durabilidade é a capacidade de manter a funcionalidade de um determinado produto, componente, elemento estrutural ou construção durante um tempo determinado. [1]



# E

- Encontro de uma ponte: Obra extrema de uma ponte, em geral dando-lhe apoio, e podendo servir para sustentar as terras do aterro de acesso.
- Estribo: Parte do encontro ou pilar de ponte a que se transmitem as cargas da estrutura por intermédio, em geral, de aparelhos de apoio. [1]

# F

- Factor de degradação é qualquer factor externo que afecte negativamente as características de comportamento estruturais ou materiais. [1]
- Funcionalidade é a capacidade que esse elemento tem para cumprir as funções para as quais foi concebido e construído. [1]

I

- Infra-estrutura de uma ponte: Parte da construção que compreende as fundações e as obras de apoio, como pilares e encontros. [1]

L

- Longarina: Viga longitudinal que se apoia em carlingas. [1]
- Laje: Placa plana cujas secções transversais estão sujeita principalmente a esforços de flexão devidos á actuação de forças normais ao seu plano. [1]

# M

- *Map cracking*: padrão de fissuração no betão que se caracteriza por uma malha aleatória que sugere um mapa. A sua origem está associada às reacções Álcalis-Agregado; [10]

- Muro de testa: Parte frontal de um encontro de ponte em que, em geral, se apoia directamente a estrutura da obra. [1]

- Muro de avenida: Parte lateral do encontro de uma ponte estabelecida paralelamente ao eixo da via. [1]

- Muro de ala: Parte do encontro de uma ponte destinada a suportar lateralmente, o aterro de acesso, quando não paralela ao eixo da via. [1]

- Muro de espera: Muro de suporte de terras em talude. [1]

# O

- Obra-de-arte: Designação tradicional das construções, tais como, pontes viadutos, túneis e muros de suporte, necessárias ao estabelecimento de uma via de comunicação. [1]

# P

- Passadiço: Ponte destinada apenas a dar passagem a pessoas e veículos de pequena carga. [1]
- Passagem superior: Obra destinada a dar passagem a uma estrada sobre um caminho-de-ferro ou sobre estrada de maior importância. [1]
- Passagem inferior: Obra destinada a dar passagem a uma estrada sob um caminho-de-ferro ou sob estrada de maior importância. [1]
- Pilar de uma ponte ou pegão: Obra de apoio intermédio numa ponte de vários vãos. [1]
- Pontão: Pequena ponte, de comprimento geralmente inferior a uma dezena de metros. [1]
- Ponte: Obra destinada a dar continuidade a uma via de comunicação ou a uma canalização, e transpondo, em geral, um curso de água. [1]
- Ponte de betão: Ponte cujos elementos principais da superestrutura são em betão. [1]
- Ponte enviezada ou Ponte oblíqua ou Ponte em vize: Ponte cujo eixo longitudinal é oblíquo ao eixo do obstáculo que transpõe. [1]
- Ponte metálica: Ponte cujos elementos principais da superestrutura são metálicos. [1]
- Ponte Normal ou Ponte direita: ponte cujo eixo longitudinal é perpendicular ao eixo do obstáculo que transpõe. [1]
- Pórtico: Estrutura continua constituída geralmente por barras horizontais e verticais. [1]

# R

- Recobrimento das armaduras: é a distância entre a superfície da armadura, incluindo cintas e estribos, e a superfície livre do betão mais próxima. [1]

- Reacções Álcis – Agregado: (RAA), correspondem a um grupo de reacções químicas expansivas que ocorrem entre determinados minerais dos agregados do betão e os iões alcalinos sódio e potássio presentes na solução intersticial do betão ou o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento. Estas reacções originam um gel higroscópico alcalino que absorve a água e expande, originando tensões internas que provocam a fissuração do betão. [9]



# S

- Superestrutura de uma ponte: Parte da ponte acima das obras de apoio, a qual inclui os aparelhos de apoio quando existam. [1]

# T

- Tabuleiro: Parte da superestrutura onde se estabelece o pavimento da via de comunicação servida pela obra. [1]
- Talha-mar: parte de um pilar com forma apropriada para facilitar o escoamento. [1]
- Testas: Superfícies que limitam arcos ou abóbadas de ponte paralelamente ao eixo longitudinal da obra. [1]
- Tramo: Parte da estrutura compreendida entre dois apoios consecutivos. [1]
- Travessa: Viga transversal entre vigas longitudinais. [1]

# V

- Vão: Distância entre apoios consecutivos de uma ponte. [1]
- Vão livre: Vão medido paralelamente ao eixo da ponte, entre os paramentos interiores dos apoios. [1]
- Vão total: Distância entre as testas dos encontros, medida paralelamente ao eixo da ponte. [1]
- Vão teórico: Vão medido paralelamente ao eixo da ponte, entre os eixos dos apoios. [1]
- Vão útil: Vão medido perpendicularmente ao eixo da via inferior ou ao eixo da linha de água atravessada, entre os paramentos interiores dos apoios. [1]
- Viaduto: Ponte em que o principal obstáculo transposto não é um curso de água. [1]
- Viaduto de acesso: viaduto destinado a dar acesso a uma ponte. [1]
- Viga: Peça linear cujas secções transversais estão principalmente sujeita a esforços de flexão. [1]
- Vigas principais: Vigas longitudinais de uma estrutura que transmitem todos os esforços nela desenvolvidos aos apoios da estrutura. [1]